

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Bruno Breka

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Markučić

Student:

Bruno Breka

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno koristeći znanja stečena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, služeći se navedenom literaturom i uz stručno vodstvo mentora prof. dr. sc. Damira Markučića.

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Damiru Markučiću, predstojniku Zavoda za kvalitetu na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, uz čiju je stručnu pomoć i podršku nastao ovaj rad. Zahvaljujem Marku Rakvinu, mag. ing. mech. na stručnim savjetima i pruženoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se Ivici Veljači, dipl. ing., direktoru TPK-Zavoda, te Filipu Cauševiću, dipl. ing. i Verici Terek, dipl. ing., koji su omogućili, kao i svojim stručnim savjetima doprinijeli izradi rada.

Zahvaljujem se svim djelatnicima TPK-Zavoda, te posebno Damiru Copaku i Milanu Novakoviću, na podršci i pomoći pruženoj tijekom izrade rada.

Od srca zahvaljujem svojoj obitelji na podršci pruženoj tokom studija.

Bruno Breka

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. RADIOGRAFSKA METODA	2
2.1 Izvori ionizirajućeg zračenja	3
2.2 Radiografski filmovi i folije	4
2.2.1 Folije	4
2.2.2 Filmovi	6
2.3 Nastajanje radiograma	7
3. TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA	8
4. EKSPERIMENTALNI DIO.....	9
4.1 Istraživanje mogućnosti upotrebe izotopa Ir192 pri radiografskom ispitivanju čeličnih cijevi ukupne prozračene debljine manje od 20 mm	14
4.1.1 Kontaktna tehnika	17
4.1.2 Udaljavanje na udaljenost D od ispitnog predmeta	19
4.1.3 Udaljavanje na udaljenost $D/2$ od ispitnog predmeta	21
4.1.4 Priprema ispitnog predmeta	23
4.1.5 Radiografsko ispitivanje zavarenog spoja cijevi	27
4.1.5.1 Ispitivanje zavarenog spoja cijevi rendgenskim uređajem.....	27
4.1.5.2 Kontaktna tehnika	28
4.1.5.3 Udaljavanje na udaljenost D od ispitnog predmeta.....	30
4.1.5.4 Udaljavanje na udaljenost $D/2$ od ispitnog predmeta.....	31
4.1.5.5 Razvijanje filmova	32
4.1.5.6 Pregled filmova i analiza rezultata	33
4.1.5.7 Osvrt na rezultate ispitivanja.....	37
4.2 Ispitivanje mogućnosti smanjenja broja ekspozicija za kontaktnu tehniku radiografskog ispitivanja čeličnih cijevi.....	43
4.2.1 Priprema ispitnog predmeta	46

4.2.2 Ispitivanje zavarenog spoja cijevi.....	48
4.2.2.1 Područje 215 mm	48
4.2.2.2 Područje 250 mm	50
4.2.2.3 Područje 285 mm	51
4.2.2.4 Razvijanje filmova	52
4.2.2.5 Pregled filmova i analiza rezultata	53
4.2.2.6 Osvrt na rezultate ispitivanja.....	57
5. ZAKLJUČAK	63
LITERATURA.....	64
PRILOZI.....	65

POPIS SLIKA

Slika 1.	Ispitni predmet	9
Slika 2.	Mjerenje dimenzija ispitnog predmeta.....	10
Slika 3.	Illuminator KOWOTEST – KOWOLUX 3	12
Slika 4.	Denzitometar KOWOTEST – DENSORAPID - A	13
Slika 5.	Klin zacrnjenja BAM 8.3	13
Slika 6.	Aranžman korišten pri ispitivanju	14
Slika 7.	Minimalni broj ekspozicija za tehniku prozračavanja dvostrukog zida s ciljem pregleda jednostruke slike	17
Slika 8.	Određivanje broja ekspozicija za kontaktnu tehniku, klasa B	18
Slika 9.	Određivanje broja ekspozicija za tehniku udaljavanja na udaljenost D od ispitnog predmeta za klasu B	20
Slika 10.	Određivanje broja ekspozicija za tehniku udaljavanja na udaljenost D/2 od ispitnog predmeta za klasu B	22
Slika 11.	Indikator kvalitete radiograma 10 FE EN	23
Slika 12.	Žice korištene pri ispitivanju.....	24
Slika 13.	Određivanje početne točke, postavljanje olovnog metra	25
Slika 14.	Postavljanje žica na vanjsku stijenku ispitnog predmeta	25
Slika 15.	Postavljanje žica na unutarnju stijenku ispitnog predmeta	26
Slika 16.	Postavljanje indikatora kvalitete radiograma (IKR) na ispitni predmet.....	26
Slika 17.	Mjerenje udaljenosti rendgenski uređaj-stražnja stijenka cijevi	27
Slika 18.	Pozicioniranje rentgenskog uređaja	28
Slika 19.	Pozicioniranje izotopa kod kontaktne tehnike	28
Slika 20.	Pozicioniranje izotopa kod tehnike udaljavanja na udaljenost D	30
Slika 21.	Pozicioniranje izotopa za tehniku udaljavanja na udaljenost D/2 od ispitnog predmeta	31
Slika 22.	Oznake na radiogramu	39
Slika 23.	Raspored ispitnih žica na radiogramu	40
Slika 24.	Radiogram K6-D4-SR-3F	41
Slika 25.	Radiogram K8-D4-NR-3F	42
Slika 26.	Aranžman korišten pri ispitivanju, prema HRN EN 1435	43
Slika 27.	Određivanje broja ekspozicija za kontaktnu tehniku, klasa B	44

Slika 28.	Ucertavanje granica korisnih duljina filmova.....	46
Slika 29.	Ispitni set žica u postupku izrade	47
Slika 30.	Ispitni set žica.....	47
Slika 31.	Ispitni predmet pripremljen za ispitivanje područja 215 mm	48
Slika 32.	Ispitni aranžman za ispitivanje područja 215 mm	49
Slika 33.	Ispitni predmet pripremljen za ispitivanje područja 250 mm	50
Slika 34.	Ispitni predmet pripremljen za ispitivanje područja 285 mm	51
Slika 35.	Oznake na radiogramu	58
Slika 36.	Radiogram područja 280 mm sa označenim mjestima ocjenjivanja.....	59
Slika 37.	Područje interesa ispitivanja 215 - 285 mm.....	61
Slika 38.	Radiogram B-K8-D4-NR-3F; W 14 > 1 cm	62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijeme ekspozicija kod kontaktne tehnike za korištene izotope i klase sistema filmova	29
Tablica 2. Vrijeme ekspozicija kod tehnike udaljavanja na udaljenost D za korištene izotope i klase sistema filmova	31
Tablica 3. Vrijeme ekspozicija kod tehnike udaljavanja na udaljenost D/2 za korištene izotope i klase sistema filmova	32
Tablica 4. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog rendgenskim uređajem	34
Tablica 5. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog izotopom iridija aktivnosti 6 Ci, kontaktna tehnika	35
Tablica 6. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog izotopom iridija aktivnosti 8 Ci, kontaktna tehnika	36
Tablica 7. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog izotopom iridija aktivnosti 8 Ci, sa tehnikama udaljavanja D i D/2	37
Tablica 8. Vrijeme ekspozicije ispitivanja područja 215 kontaktnom tehnikom	49
Tablica 9. Vrijeme ekspozicije ispitivanja područja 250 kontaktnom tehnikom	51
Tablica 10. Vrijeme ekspozicije ispitivanja područja 285 kontaktnom tehnikom	52
Tablica 11. Vidljivost žica na filmu razreda osjetljivosti D4 za ispitne pozicije	55
Tablica 12. Vidljivost žica na filmu razreda osjetljivosti D7 za ispitne pozicije	56

SAŽETAK

Radiografska metoda je jedna od najčešće korištenih metoda nerazornih ispitivanja. Prednosti radiografskog ispitivanja pred ostalim NDT metodama su: sposobnost otkrivanja volumnih nepravilnosti, sposobnost uočavanja značajnijih varijacija u sastavu materijala te trajni zapis. Radiografskom se metodom, također, mogu provoditi ispitivanja većine metalnih materijala, bez obzira na njihovu magnetičnost, kao i ispitivanja nemetalnih materijala i kompozita.

Radiografska se metoda osobito koristi pri ispitivanju zavarenih spojeva. Tehnički zahtjevi koji osiguravaju zahtijevanu osjetljivost i kvalitetu radiografske slike propisani su normom HRN EN 1435. Međutim, kod ispitivanja koja se provode u terenskim uvjetima zahtjevi propisani normom često se ne mogu ispuniti jer svi elementi ispitnih sustava nisu osigurani.

Ciljevi istraživanja, prikazanog u ovome radu, bili su, prije svega, ispitati mogućnosti upotrebe izotopa Ir192 pri radiografskom ispitivanju zavarenih spojeva čeličnih cijevi ukupne prozračene debljine manje od 20mm te istražiti mogućnosti smanjenja broja ekspozicija propisanih normom za pojedine tehnike radiografskog ispitivanja čeličnih cijevi. U okviru istraživanja, ispitane su i mogućnosti upotrebe radiografskih filmova različitih razreda osjetljivosti.

Ključne riječi: radiografska ispitivanja, zavareni spojevi čeličnih cijevi, izotop Ir 192, HRN EN 1435, broj radiograma, kvaliteta radiografske slike

SUMMARY

Radiography is one of the most widely used non-destructive testing method. The advantages of radiographic testing over other NDT methods include: the ability to detect internal flaws, the ability to reveal significant variations in material composition and a permanent record of the testing carried out. Furthermore, most metallic materials, regardless of their magnetic properties, as well as non-metallic materials and composites can be tested by radiography.

Radiography is especially used in welded joint testing. The requirements regarding the sensitivity and the quality of radiographic images are determined by HRN EN 1435 standard. However, when testing is carried out under field conditions, the requirements, determined by the standard, may not be fulfilled due to a possible lack of certain testing system elements.

This thesis presents an investigation into different possibilities of steel pipe welded joint radiographic testing. Firstly, the use of Ir192 gamma ray source in radiographic testing of steel pipe welded joints of total exposed thickness less than 20 mm was tested. Secondly, different possibilities of reducing the number of exposures, determined by the standard, for particular radiographic testing techniques were investigated. The use of radiographic films of various sensitivity classes was also examined.

Key words: radiographic testing, steel pipe welded joints, Ir 192 gamma ray source, HRN EN 1435, number of radiographs, radiographic image quality

1. UVOD

Jedna od najstarijih i najrasprostranjenijih volumnih metoda nerazornih ispitivanja je radiografska metoda. Radiografska metoda ispitivanja tj, radiografija intenzivno se koristi kod ispitivanja zavarenih spojeva, kao i odljevaka poglavito onih kod kojih nije dozvoljeno postojanje volumnih nepravilnosti.

Tehnički zahtjevi za radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva propisani su normom HRN EN 1435. U odnosu na debljinu i geometriju ispitnog objekta, propisani tehnički zahtjevi nalažu korištenje određenog izvora zračenja, primjenu određene radiografske tehnike i klasu radiografskog filma. U terenskim uvjetima praktične provedbe ispitivanja čest je slučaj nemogućnosti poštivanja određenih zahtjeva propisanih normom. Izvođači ispitivanja u takvim su slučajevima primorani ispitivanja provesti sa određenim odstupanjima od propisanih tehničkih zahtjeva, ovisno o raspoloživosti pojedinih elemenata ispitnog sustava.

U svrhu preispitivanja zahtjeva norme provedena su istraživanja mogućnosti uporabe izotopa Ir192 pri radiografskom ispitivanju čeličnih cijevi ukupne prozračene debljine manje od 20 mm. Ispitivanja su provedena primjenom različitih izvora ionizirajućeg zračenja, korišteni su filmovi različitih razreda osjetljivosti, a razvijanje filmova provedeno je u različitim sistemima kemikalija za razvijanje. Sukladno s rezultatima ispitivanja, provjerena je i mogućnost smanjenja broja ekspozicija (filmova) propisanih normom za pojedinu tehniku radiografskog ispitivanja čeličnih cijevi.

2. RADIOGRAFSKA METODA

Ispitivanja bez razaranja (IBR) ili nerazorna ispitivanja, (eng. NDT – Non-destructive testing) predstavljaju skup metoda temeljenih na principima fizike sa svrhom utvrđivanja svojstava materijala ili komponenata sustava, te otkrivanjem različitih vrsta nepravilnosti, a da pritom predmet ispitivanja ostane neoštećen. Nerazorna ispitivanja od velike su važnosti za praćenje kvalitete kako u proizvodnji, tako i tijekom eksploatacije. Osnovni zadatak svih NDT metoda je pronalaženje, odnosno detekcija nepravilnosti u osnovnom materijalu, kao i njegovim spojevima. Međutim, NDT metode mogu se koristiti i u druge svrhe poput kontrole sklapanja rastavljivih elemenata, praćenja proizvodnje, utvrđivanje postojanja korozije na elementima, itd. Jedna od najstarijih i najrasprostranjenijih volumnih metoda ispitivanja je radiografska metoda, tj. radiografija.

Radiografija je metoda nerazornih ispitivanja dijelova i sklopova koja se temelji na razlikama u apsorpciji zračenja dijela ili cijelog komada koji se ispituje. Količina zračenja koje će predmet apsorbirati ovisi o apsorpcijskim karakteristikama samog materijala, kao i gustoći i debljini istog. Zračenje koje materijal ne upije odnosno apsorbira koristi se za izradu zapisa na filmu ili fotosenzitivnom papiru ili se može detektirati odnosno prikazati pomoću različitih uređaja. Konvencionalna radiografska metoda podrazumijeva zapisivanje trajne slike na filmu ili papiru (xeroradiografija, eng. xeroradiography), iako bi se u pravilu trebala odnositi na sve poznate radiografske metode kontrole. U radu se naglasak stavlja upravo na zapis na filmu.

Objekt koji se ispituje izlaže se X ili γ zrakama. Zračenje koje materijal nije apsorbirao stvara sliku na filmu. Neapsorbirano zračenje aktivira emulziju filma na sličan način kako svjetlost aktivira fotografski film. Razvijanjem filma stvara se dvodimenzionalna slika objekta. Razlike u gustoći, debljini i sastavu materijala objekta koji se ispituje uzroci su varijacijama intenziteta apsorbiranog zračenja i na filmu se očitavaju kao razlike u fotografskoj (optičkoj) gustoći tj. zacrtnjenju. Ocjenjivanje radiograma temelji se na procjenama razlika u zacrtnjenju uzimajući u obzir poznate karakteristike materijala objekta. Veće razlike u zacrtnjenju lakše su uočljive od onih manjih. Sa stajališta mogućnosti detekcije nepravilnosti u materijalu, radiografija se ograničava na otkrivanje grešaka osjetne debljine u smjeru paralelnom sa zrâkom. To znači da vjerojatnost detekcije planarnih grešaka poput pukotina ovisi o pravilnom postavljanju ispitnog uzorka. Nepravilnosti poput šupljina ili uključaka, koji imaju mjerljivu debljinu u svim smjerovima lako su uočljive. Općenito gledajući, nepravilnosti koje uzrokuju 2 ili više posto razlike u apsorpciji u odnosu na osnovni materijal moguće je uočiti.

Radiografija i ultrazvuk pripadaju volumnim metodama ispitivanja i kao takve koriste se za otkrivanje nepravilnosti koje se nalaze u materijalu i nisu otvorene prema površini. Nijedna od navedenih metoda nije ograničena na otkrivanje specifičnih volumnih nepravilnosti. Ipak, radiografija pokazuje veću sposobnost detekcije nepravilnosti koje nisu planarne, dok je ultrazvuk učinkovitiji kod detekcije planarnih.

U odnosu na druge NDT metode (npr. ispitivanje magnetskim česticama, penetrantima ili vrtložnim strujama), radiografija ima tri osnovne prednosti:

- sposobnost detekcije volumnih nepravilnosti
- sposobnost uočavanja značajnijih varijacija u sastavu materijala
- stvaranje trajnog zapisa

Također, prednost radiografije u odnosu na druge metode nerazornih ispitivanja očituje se i u tome što je moguće ispitivanje većine metalnih materijala (uz možda iznimku metala izrazito male ili izrazito velike gustoće) bili oni magnetični ili nemagnetični, kao i ispitivanje nemetalnih materijala ili kompozita.

Kao glavni nedostatak radiografskog ispitivanja treba istaknuti njegovu cijenu. Zahtijevana su povećana kapitalna ulaganja u opremu, kao i osiguranje dostatnog prostora i opreme laboratorija za provođenje i evaluaciju rezultata samih ispitivanja. S druge strane korištenjem prijenosnog rendgen uređaja ili izotopa (smanjenje kapitalnih troškova, kao i zahtijevanog prostora za provođenje ispitivanja), troškovi se mogu znatno smanjiti. Naravno uporaba prijenosnog rendgen uređaja ili izotopa također ima ograničenja. Prijenosni redtgen uređaji emitiraju relativno male energije zračenja (oko 300 KeV), zbog čega su primjenjivi za ispitivanje tanjih materijala. Radiografsko ispitivanje primjenom izotopa također nailazi na određena ograničenja u debljini ispitnih materijala budući da zbog zaštite ispitivača se pri ispitivanju koriste izotopi smanjene aktivnosti. Zbog smanjenih energija zračenja u oba slučaja zahtijevana su dulja vremena ekspozicija.

Radiografska metoda ispitivanja intenzivno se koristi kod ispitivanja zavarenih spojeva, kao i odljevaka poglavito onih kod kojih nije dozvoljeno postojanje volumnih nepravilnosti. Primjer toga je čest zahtjev za radiografsko ispitivanje debelostijenih odljevaka i zavarenih spojeva posuda pod tlakom.

2.1 Izvori ionizirajućeg zračenja

Razlika između rendgenskog (X) i gama (γ) zračenja je u porijeklu nastajanja.

Rendgensko zračenje je elektromagnetsko zračenje valova kratkih valnih duljina, energija od 150 eV od 20 MeV, a po svojoj prirodi je umjetno. Nastanak rendgenskog zračenja povezano je sa smanjivanjem brzine i skretanjem ubrzanih elektrona (Bremsstrahlung efekt - proces zakočnog zračenja) u električnom polju jezgre atoma. Izvor X zračenja u industrijskoj je radiografiji najčešće rendgenska cijev sa užarenom katodom, a po svojoj građi može biti jednopolna i dvopolna. Izvor elektrona (katoda) u rendgenskoj cijevi najčešće je zavojnica od volframa, koja zagrijana na oko 2000 °C emitira elektrone. Ubrzanje elektrona u datom električnom polju ostvaruje se izvorom visokog napona. Tako ubrzani elektroni udaraju u odgovarajuću metu, tj anodu, što rezultira nastajanjem X-zraka [1, 2].

Parametri rendgenskog uređaja su:

- struja (mA)
- napon cijevi (kV)
- vrijeme ekspozicije (min)

Gama zračenje nastaje energetsom stabilizacijom radioaktivnog izotopa, emisijom α ili β čestice ili K prihvatom elektrona. Radioaktivni izvori gama zračenja koji se koriste u industrijskoj radiografiji proizvode se umjetno aktivacijom jezgara stabilnog izotopa elemenata u nuklearnom reaktoru [1,2].

Količina zračenja nekog izotopa zavisi od:

- vrste izotopa,
- aktivnosti izotopa.

Kao izvor ionizirajućeg zračenja u industrijskoj radiografiji najčešće se koriste industrijski rendgen uređaji, akceleratori ili gama radioaktivni izotopi ^{75}Se , ^{192}Ir , ^{60}Co i dr.

2.2 Radiografski filmovi i folije

Različiti su načini očitavanja intenziteta zračenja dobivenih prolazom kroz ispitni objekt poput zapisa na filmu, papiru, slika „real-time“, grafički, i dr. Najčešći i općenito najprihvaćeniji zapis u radiografiji je snimanje trajne slike odnosno radiograma. Radiogrami nastaju prolazom zračenja kroz ispitni objekt, a njihova slika zapisuje se na film, radiografski papir ili elektrostatski osjetljivi poput onih koji se koriste kod xeroradiografije.

2.2.1 Folije

U procesu snimanja metalne se folije postavljaju ispred i iza filma u metalnoj ili plastičnoj kazeti. U novije se vrijeme umjesto filmova koji se ulažu u kazete, češće koriste filmovi na kojima su folije već tvornički postavljene na filmove i u potpunosti prijanjaju na njih (tzv. vakuum-pack). Osnovna funkcija metalnih folija je povećanje zacrnjenja i kontrasta na radiografskom filmu pojačavajući efekt zračenja, a djeluju i kao filter raspršenog zračenja čime se osigurava postizanje prihvatljivog kontrasta u radiografskom ispitivanju. Prednja folija služi za pojačavanje efekta zračenja, ali i za filtriranje raspršenog zračenja iz predmeta ispitivanja, dok folija postavljena na stražnju stranu filma većinom služi kao filter povratnog raspršenog zračenja.

Dva su osnovna tipa radiografskih folija:

- Metalne folije
- Fluorescentne folije [2]

Metalne folije su najčešće korištene folije u industrijskoj radiografiji. Dostupne su mnoge vrste poput olovnih folija, folija s olovnim oksidom, zlatom, tantalom, bakrom (često korištene za Co60), i dr. Zbog najpovoljnije kombinacije filtracijskih svojstava i efekta pojačavanja zračenja najčešću primjenu imaju olovne folije.

Olovo vrlo dobro apsorbira ionizirajuće zračenje. Količina zračenja koja će se apsorbirati ponajprije ovisi o energiji odnosno valnoj duljini. Zračenje većih energija (manje valne duljine) ima veća penetrirajuća svojstva od manjih (veće valne duljine) energija zračenja. Primarno zračenje kojim se ispitni objekt ozračuje prolazi kako kroz sami objekt, tako i kroz olovnu foliju koja upija samo neznatno malu količinu tog zračenja. S druge strane raspršeno zračenje koje je znatno manje energije od primarnog gotovo u potpunosti apsorbira olovna folija.

Filtriranje rasijanog zračenja

Najveća količina raspršenog zračenja dolazi iz ispitnog objekta (unutarnje raspršivanje), ali i od stola, poda ili neke druge podloge na koju je film postavljen tijekom ispitivanja (povratno raspršeno zračenje). Zbog potrebe smanjivanja obiju vrsta raspršenog zračenja na film se postavljaju dvije olovne folije, jedna s prednje (okrenuta prema ispitnom objektu i izvoru zračenja) i jedna sa stražnje (okrenuta od ispitnog objekta i izvora zračenja, a prema stolu, podu ili drugoj podlozi na kojoj je postavljen film) strane filma. Folija postavljena na prednju stranu filma, čija je uloga propustiti primarno, a što je moguće više umanjiti raspršeno zračenje, obično je manje debljine od one postavljene na stražnjoj strani filma a odabir njezine debljine ovisi o energiji zračenja. Uobičajena debljina prednje folije je od 0.02 do 0.15 mm. Uloga stražnje folije je da smanji količinu povratnog raspršenog zračenja, tako da njezina debljina nije od osobite važnosti. Debljine stražnjih folija kreću se okvirno oko 0.25 mm [1].

Efekt pojačavanja zračenja

Kada ionizirajuće zračenje aktivira olovo, ono emitira elektrone. Broj emitiranih elektrona direktno ovisi i proporcionalan je energiji fotona koji prolaze kroz ispitni objekt i dolaze na foliju. Emitirani elektroni zatim aktiviraju dodatna zrnca srebrobromida, koja ne bi bila aktivirana prolazom samo primarnog zračenja kroz film. Rezultat ovog procesa je veće zacrnjenje na filmu nakon razvijanja.

Emitirani elektroni ne samo da povećavaju zacrnjenje filma, već smanjuju vrijeme ekspozicije potrebno za dobivanje određenog zacrnjenja, poboljšavaju kontrasti te povećavaju mogućnost detekcije manjih nepravilnosti u materijalu.

Unutarnje neoštrine

Kada postoji zazor između filma i folije, tada elektroni emitirani od strane folije ne stižu do filma direktno, već se kreću po proizvoljnim putanjama. Tada elektron ne aktivira česticu srebrobromida koja je ravno ispred njega, a čijom bi se aktivacijom ocrtala realna slika već neku drugu česticu u blizini tako proizvodeći neoštrine na filmu. Ova pojava naziva se unutarnja neoštrina. Veći zazor između filma i folije podrazumijeva veću neoštrinu.

Kako bi se efekt ove pojave smanjio, filmovi i folije se pakiraju u vakuum pakiranja (eng. vacuum-pack) [1, 2, 3].

Fluorescentne folije koriste se većinom u medicini. Posebnost ovih folija je u tome što apsorbiraju ionizirajuće zračenje i istovremeno emitiraju svjetlost (fluoresciraju). Intenzitet emitirane svjetlosti ovisi izravno o intenzitetu zračenja. Svojstvo fluorescencije zbog kojeg se vrijeme ekspozicije filma skraćuje, može imati izrazito negativna svojstva u pogledu oštine i zacrnjenja filma. Zbog emitiranja svjetlosti fluorescentnih čestica može doći do zamagljenja slike, kao i do pojave pjega na filmu zbog nejednolike količine emitirane svjetlosti. Također fluorescentne folije imaju jako malen, gotovo nikakav učinak filtracije raspršenog zračenja. Upravo se iz navedenih razloga fluorescentne folije gotovo da i ne koriste u industrijskoj radiografiji.

2.2.2 Filmovi

Standardni radiografski film sastavljen je od sedam slojeva ukupne debljine od oko 0.5 mm. Osnovni, noseći sloj prozirna je folija na bazi celuloze (celulozni triacetat) ili poliestera. Na noseći sloj sa obje strane nanесeni su redom:

- Tanki sloj supstrata
- Sloj emulzije
- Zaštitni sloj

Tanki sloj supstrata osigurava vezivanje sloja emulzije sa nosećim slojem. Sloj emulzije sastavljen je većinom od želatina koji sadrži zrna srebrobromida. Zrna srebrobromida predstavljaju fotoaktivnu supstancu osjetljivu na ionizirajuća zračenja (i svjetlost), koja omogućuje nastajanje radiografske slike. Zaštitni sloj koji je uglavnom stvrdnuta želatina služi za zaštitu sloja emulzije [1, 3].

Ako je zahtijevana vidljivost sitnijih detalja, koriste se filmovi sa emulzijom s jedne strane. Nanošenjem sloja emulzije na obje strane nosećeg sloja povećava se količina fotoaktivnih zrna srebrobromida, čime se povećava brzina filma, ali se istovremeno formiraju dvije slike. Jedna slika formira se na gornjem sloju emulzije, a druga na donjem. Formiranje dviju slika ne utječe na promatranje radiograma bez optičkih pomagala (zbog male udaljenosti slika), ali prilikom uvećavanja radiograma može doći do pojave paralaksa koji može navesti na krive zaključke prilikom ocjenjivanja radiograma [1, 2, 3].

Iako je radiografski film osjetljiv na svjetlost, karakteristike emulzijskog sloja filma različite su od onih korištenih u fotografiji.

2.3 Nastajanje radiograma

Sloj emulzije vrlo je osjetljiv, te se kod izlaganja filma ionizirajućem zračenju na njemu događaju promjene. Zrnca srebrobromida, koja predstavljaju fotoaktivnu supstancu aktiviraju se ionizirajućim zračenjem (ili elektronima iz folije), te nastaje nevidljiva „latentna“ slika. Kao što je već navedeno latentna slika nije vidljiva, niti se može fizički izmjeriti, a kako bi postala uočljiva film se mora kemijski obraditi. Kemijskom obradom ionizirana zrnca srebrobromida u reakciji sa razvijачem (redukcija) pretvaraju se u zrna crnog elementarnog srebra, te slika postaje vidljiva. Pritom se uvijek odvija transformacija cijelog zrna. Tamnija mjesta na filmu povezuju se sa većim brojem eksponiranih zrna. Razlikuju se ručna i automatska obrada filmova.

Ručna obrada filmova odvija se u tamnim komorama, koje se razlikuju u veličini i konstrukciji, ali u pravilu sve imaju tzv. suhu i mokru zonu. U suhoj zoni se provodi priprema filmova za eksponiranje, dok se u mokroj zoni provodi obrada filmova.

Filmovi se razvijaju slijedećim redoslijedom:

- razvijanje
- međupranje
- fiksiranje
- završno pranje
- sušenje

3. TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA

Norma HRN EN 1435 propisuje tehničke zahtjeve za postizanje određene kvalitete radiografske slike za ispitivanje zavarenih spojeva. U odnosu na debljinu i geometriju ispitnog objekta, propisani tehnički zahtjevi nalažu korištenje određenog izvora zračenja, primjenu određene radiografske tehnike i klasu radiografskog filma. Čest je slučaj nemogućnosti poštivanja određenih zahtjeva propisanih normom, poglavito u terenskim uvjetima.

Kvaliteta radiograma izravno je povezana sa korištenim izvorom zračenja, što pogotovo dolazi do izražaja za ispitne objekte ukupne prozračne debljine manje od 20 mm. Na osnovu navedenog norma HRN EN 1435 ograničava korištenje izotopa Ir192 na ispitne objekte ukupne prozračne debljine veće od 20 mm. U načelu ovim zahtjevom se osigurava postizanje tražene kvalitete radiograma, također propisano navedenom normom, ali postavlja se pitanje mogućnosti korištenja propisanog izvora zračenja za navedenu prozračavanu debljinu. Naime, neosporna je kvaliteta radiograma dobivena rendgenskim uređajem, ali je istovremeno upitna mogućnost primjene prijenosnog rendgenskog uređaja u određenim situacijama. Korištenjem izotopa kao izvora zračenja, znatno se povećava mobilnost ispitivača. Česti su slučajevi rada na visini, skućenim i vlažnim prostorima ili na područjima gdje je onemogućen pristup električnoj energiji. U takvim slučajevima je gotovo nemoguće ispitivanja provesti prijenosnim rendgenskim uređajem. Također postavlja se i pitanje mogućnosti pozicioniranja samog uređaja, kao i manevriranje istim.

Izvođači ispitivanja tvrde da je uz određena odstupanja od propisanih zahtjeva (poglavito vezano uz izvor), a kombinacijom drugih parametara (korištenje filmova većeg razreda osjetljivosti, te primjena novijeg sistema kemikalija za razvijanje filmova) moguće dobiti kvalitetu radiograma propisanog normom primjenom izotopa iridija kao izvora zračenja.

U svrhu istraživanja mogućnosti uporebe izotopa Ir192 pri radiografskom ispitivanju čeličnih cijevi ukupne prozračene debljine manje od 20 mm provode se eksperimentalna ispitivanja.

4. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je radiografsko ispitivanje zavarenog spoja cijevi promjera $\phi 273$ mm, debljine stijenke 7,3 mm. Kao izvor ionizirajućeg zračenja korišteni su izotopi Ir192, te rendgenski uređaj. Svrha ispitivanja je preispitati mogućnost korištenja izotopa Ir192 pri radiografskom ispitivanju. Ispitivanja su provedena u NDT laboratoriju TPK Zavoda.

Ispitni predmet

Kao ispitni predmet korištena je čelična cijev promjera $\phi 273$ mm, duljine 252 mm, te debljine stijenke 7,3 mm. Ispitni predmet prikazan je slikom 1., dok su izmjere ispitnog predmeta prikazane slikom 2. Zavareni spoj (radijalni zavar) izveden je TIG postupkom zavarivanja. Predispitnim snimanjem cijevi utvrđeno je da je zavareni spoj zadovoljavajuće izveden.



Slika 1. Ispitni predmet



a) mjerenje promjera cijevi



b) mjerenje duljine cijevi



c) mjerenje debljine stijenke cijevi

Slika 2. Mjerenje dimenzija ispitnog predmeta

Ispitna oprema:*Izvori ionizirajućeg zračenja*

Izvori ionizirajućeg zračenja korišteni pri ispitivanju:

- Rendgenski uređaj – Isovolt 400 Ser. Br. 640702/640705; 400 kV konstantnog istosmjernog napona
- izotop Ir192, veličine izvora 2,7×1,5 mm, aktivnosti 5,87 Ci te 5,82 Ci na dane ispitivanja,
- izotop Ir192, veličine izvora 2,64×2,0mm, aktivnosti 8,3 Ci, 8,22 Ci i 8,07 Ci na dane ispitivanja.

Odabir sistema filmova za ispitivanje

Kako bi se ispitala mogućnost korištenja različitih razreda osjetljivosti filmova i kako oni utječu na kvalitetu radiograma, za potrebe ispitivanja odabrani su filmovi razreda D4 (C3 – prema HRN EN 1435) i D7 (C5 – prema HRN EN 1435) proizvođača Agfa. Filmovi ovih razreda osjetljivosti odabrani su kako bi se što više ukazalo na razlike među razredima.

Filmovi korišteni pri ispitivanju:

- Agfa – Geavert Structurix D4, dimenzije 100×240 mm, EXP. 11/2013
- Agfa – Geavert Structurix D7, dimenzije 100×240 mm, EXP. 03/2014
- Agfa – Geavert Structurix D4, dimenzije 100×480 mm, EXP. 11/2013
- Agfa – Geavert Structurix D7, dimenzije 100×480 mm, EXP. 03/2014

Priprema kemikalija za razvijanje i obradu filmova

Kako bi se ispitali utjecaji kemikalija za razvijanje i obradu filmova na kvalitetu slike radiograma, za potrebe ispitivanja pripremljene su dvije vrste sistema kemikalija. Obije vrste namijenjene su za ručnu obradu filmova. Pod prvom vrstom sistema kemikalija podrazumijevaju se razvijач i fiksir u kojima se već odvijalo razvijanje filmova (u daljnjem tekstu nazivani stari razvijач). U navedenom je sistemu do trenutka razvijanja filmova za potrebe ispitivanja razvijeno oko 500 filmova različitih dimenzija ukupne površine razvijenih filmova od 21 m².

Posebno je za potrebe ispitivanja pripremljen i novi sistem kemikalija za razvijanje filmova u kojem se nije odvijalo nikakvo razvijanje filmova, a prije obrade i razvijanja ispitnih filmova kemikalije su odstajale 24 sata (u daljnjem tekstu-novi razvijач).

Oba sistema kemikalija pripravljena su od proizvoda istih proizvođača, pripremljena su prema jednakim omjerima, a prema uputama proizvođača:

Razvijatelj – Agfa Structurix G 128 – otopina pripremljena u omjeru 20 % razvijatelja, 80 % vode.

Fiksir – Agfa Structurix G 328 – otopina pripremljena u omjeru 20 % razvijatelja, 80 % vode.

Oprema za pregled i ocjenjivanje filmova

Illuminator

Pregled i ocjenjivanje filmova provedeno je na iluminatoru KOWOTEST, prikazan slikom 3.

Specifikacije iluminatora:

- KOWOTEST, model KOWOLUX 3, Ser. Br. 49/305
- Luminacija – 125000 Cd/m²
- Redoviti pregled opreme obavljen 16.01.2013.

Prema specifikaciji uređaja i podacima pregleda, maksimalan dopušteni iznos zacrtnjenja (D_{max}) je 4. Računski, maksimalno dopušteno zacrtnjenje D_{max} iluminatora (1):

$$D_{max} = \log \frac{L_{max}}{10} \quad (1)$$

$$D_{max} = \log \frac{125000}{10}$$

$$D_{max} = 4,097$$



Slika 3. Iluminator KOWOTEST – KOWOLUX 3

Denzitometar

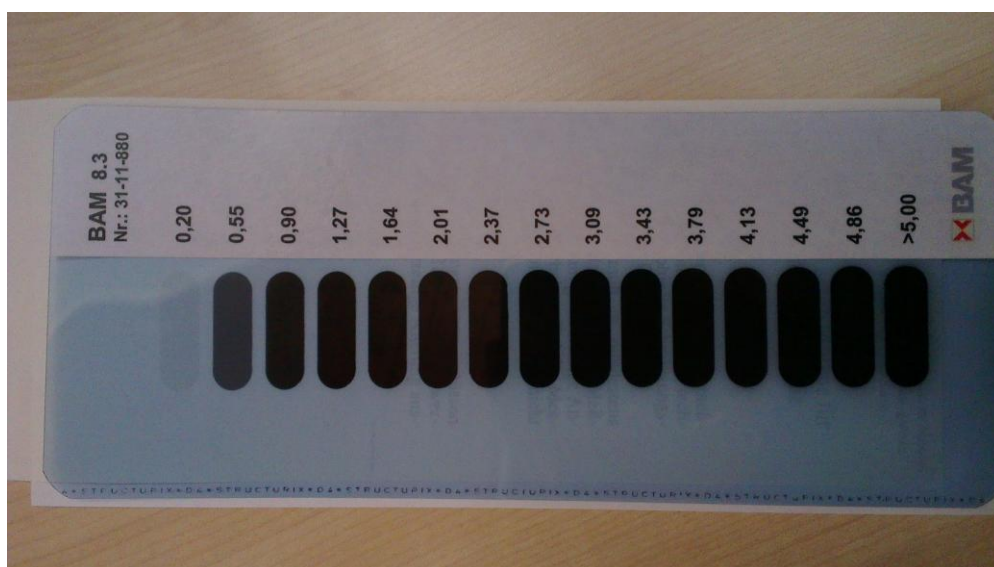
Mjerenje zacrnnjenja izvedeno je denzitometrom KOWOTEST – DENSORAPID–A, prikazanim slikom 4. Prije samog mjerenja denzitometar je provjeren klinom zacrnnjenja. Zacrnnjenja na filmovima mjerena su u dvije točke, na zavaru i na osnovnom materijalu, i to u području gdje je postavljen IKR, na žicama koje su tražene kod pojedinog ispitivanja



Slika 4. Denzitometar KOWOTEST – DENSORAPID - A

Klin zacrnnjenja

Provjera denzitometra provedena je klinom zacrnnjenja tipa BAM 8.3, serijskog broja 31-11-880. Područje mjerenja zacrnnjenja je od 0,2 do > 5,0. Na slici 5. Prikazan je klin zacrnnjenja korišten za provjeru denzitometra.



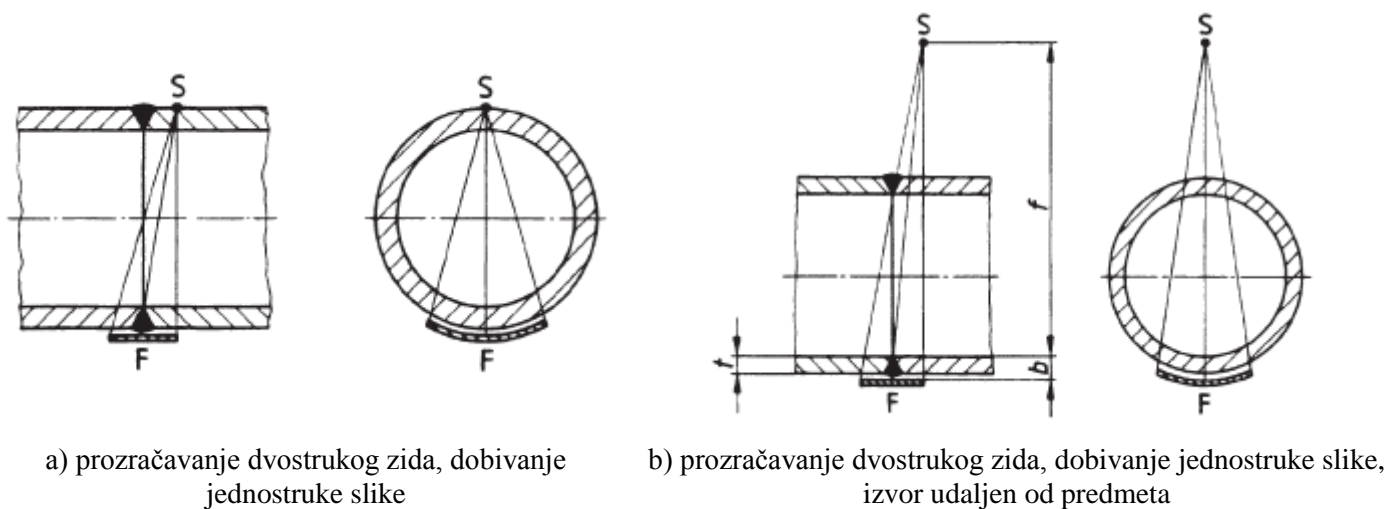
Slika 5. Klin zacrnnjenja BAM 8.3

4.1 Istraživanje mogućnosti upotrebe izotopa Ir192 pri radiografskom ispitivanju čeličnih cijevi ukupne prozračene debljine manje od 20 mm

Svrha navedenog dijela ispitivanja je provjeriti mogućnost dobivanja kvalitete slike radiograma klase B koristeći izotop Ir192 kao izvor ionizirajućeg zračenja za debljinu stijenke manju od 20 mm.

Ispitivanje je provedeno različitim ispitnim aranžmanima, te su korištene različite klase sistema filmova. U nastojanju da se kvaliteta slike radiograma približi klasi B, pri snimanju je kod određenih aranžmana između filma i ispitnog predmeta postavljena dodatni sistem folija ukupne debljine od 0,9 mm, dozvoljena prema normi HRN EN 1435, a filmovi su razvijani u novom i starom razvijaču.

S obzirom na dimenzije cijevi i svrhu ispitivanja, kao aranžman ispitivanja odabrana je tehnika prozračavanja dvostrukog zida sa dobivanjem pojedinačne slike (ispitni aranžman prikazan je slikom 6.) [5]. Izvor zračenja i film nalaze se izvan ispitnog predmeta, a film se postavlja na suprotnu stranu od izvora. IKR će pri ovom ispitnom aranžmanu biti postavljen na stranu filma.



Slika 6. Aranžman korišten pri ispitivanju [5]

Ispitivanje će biti provedeno dvjema tehnikama navedenog aranžmana i to kontaktom (izvor neposredno uz cijev) i na udaljenostima od cijevi (D i $D/2$ od prednje stijenke cijevi).

Kako bi provjerili da li su primjenjivi navedeni ispitni aranžmani potrebno je zadovoljiti uvjet minimalne udaljenosti izvor-predmet (2):

$$f = D_e - t \geq f_{min} \quad (2)$$

gdje je

f - udaljenost izvor-predmet

D_e - vanjski promjer cijevi

t - nominalna debljina stijenke cijevi

f_{min} - minimalna udaljenost izvor predmet za određenu klasu ispitivanja

Minimalna udaljenost izvor-predmet za određenu klasu ispitivanja očitava se iz nomograma, slika 21, ili se računski prema formuli [5]:

Za klasu A (3):

$$\frac{f_{min}}{d} \geq 7,5 \times \left(\frac{b}{mm}\right)^{2/3} \quad (3)$$

Za klasu B (4):

$$\frac{f_{min}}{d} \geq 15 \times \left(\frac{b}{mm}\right)^{2/3} \quad (4)$$

gdje je

f_{min} - minimalna udaljenost izvor-predmet

d - veličina izvora

b - udaljenost film-predmet

Ukoliko je udaljenost film-predmet (b) manja od iznosa $1,2 \times t$ (t - debljina stijenke), iznos dimenzije b će biti zamijenjeno sa t prema normi HRN EN 1435.

Poštujući zahtjeve norme računa se minimalna udaljenost izvor-film za korištene izvore:

- veličina izvora jakosti intenziteta zračenja od 6 Ci iznosi 2,1 mm, stoga f_{min} za navedeni izotop:

Za klasu A (5):

$$\frac{f_{min}}{d} \geq 7,5 \times \left(\frac{b^*}{mm}\right)^{2/3} \quad (5)$$

$$\frac{f_{min}}{2,1} \geq 7,5 \times \left(\frac{7,3}{mm}\right)^{2/3}$$

$$f_{min} \geq 59,27 \text{ mm}$$

Za klasu B (6):

$$\frac{f}{d} \geq 15 \times \left(\frac{b^*}{mm}\right)^{2/3} \quad (6)$$

$$\frac{f_{min}}{2,1} \geq 15 \times \left(\frac{7,3}{mm}\right)^{2/3}$$

$$f_{min} \geq 118,54 \text{ mm}$$

* Budući da je b manji od $1,2 \times t$, umjesto iznosa b , u jednadžbu se uvrštava debljina stijenke t .

- izotop jakosti intenziteta 8 Ci ima veličinu izvora od 2,32 mm, pa je u ovom slučaju f_{min} :

Za klasu A (7):

$$\frac{f_{min}}{d} \geq 7,5 \times \left(\frac{b^*}{mm}\right)^{2/3} \quad (7)$$

$$\frac{f_{min}}{2,34} \geq 7,5 \times \left(\frac{7,3}{mm}\right)^{2/3}$$

$$f_{min} \geq 66,04 \text{ mm}$$

Za klasu B (8):

$$\frac{f}{d} \geq 15 \times \left(\frac{b^*}{mm}\right)^{2/3} \quad (8)$$

$$\frac{f_{min}}{2,34} \geq 15 \times \left(\frac{7,3}{mm}\right)^{2/3}$$

$$f_{min} \geq 132,09 \text{ mm}$$

* Budući da je b manji od $1,2 \times t$, umjesto iznosa b , u jednadžbu se uvrštava debljina stijenke t .

Za određivanje interesnog ispitnog područja, potrebno je izračunati korisnu duljinu filma, a ona se za odabrani ispitni aranžman i tehniku računa prema izrazu (9):

$$\Delta L = \pi \cdot D_e / N \quad (9)$$

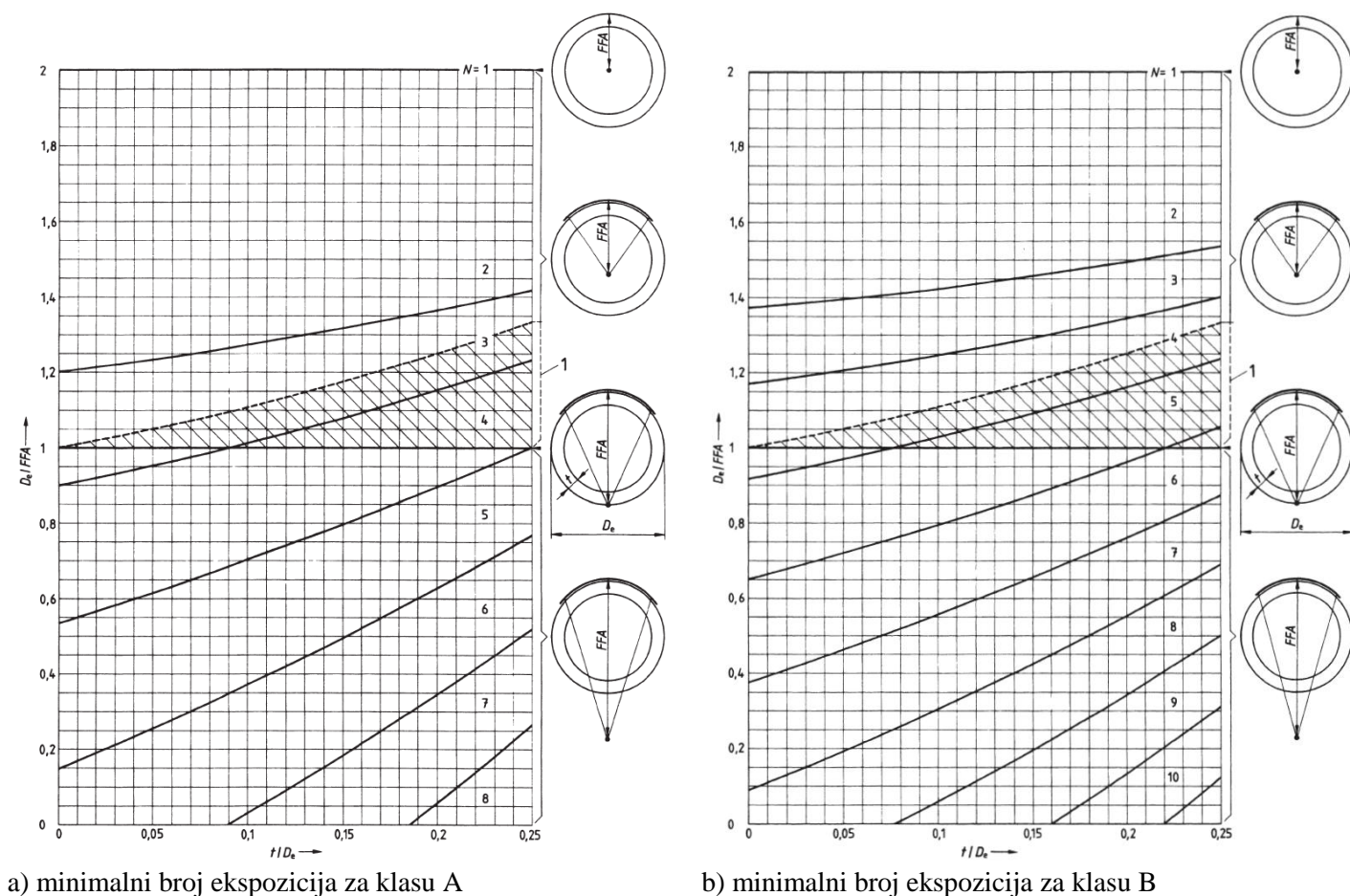
gdje je

ΔL - korisna duljina filma

D_e - vanjski promjer cijevi

N - broj ekspozicija

Broj potrebnih ekspozicija se određuje pomoću dijagrama prema normi HRN EN 1435, slika A.2 i slika A.4, ovisno o klasi ispitivanja.



Slika 7. Minimalni broj ekspozicija za tehniku prozračavanja dvostrukog zida s ciljem pregleda jednostruke slike [5]

4.1.1 Kontaktna tehnika

S obzirom da je D_e cijevi 273 mm, a debljina stijenke t 7,3 mm, uvjet minimalne udaljenosti izvor-predmet zadovoljen je za sve odabrane vrste aranžmana, kako za klasu A, tako i za B klasu sistema filma (10).

$$f = D_e - t \geq f_{min} \quad (10)$$

$$f = 273 - 7,3 = 256,7 \geq f_{min}$$

Korisna duljina filma računa se prema izrazu (11):

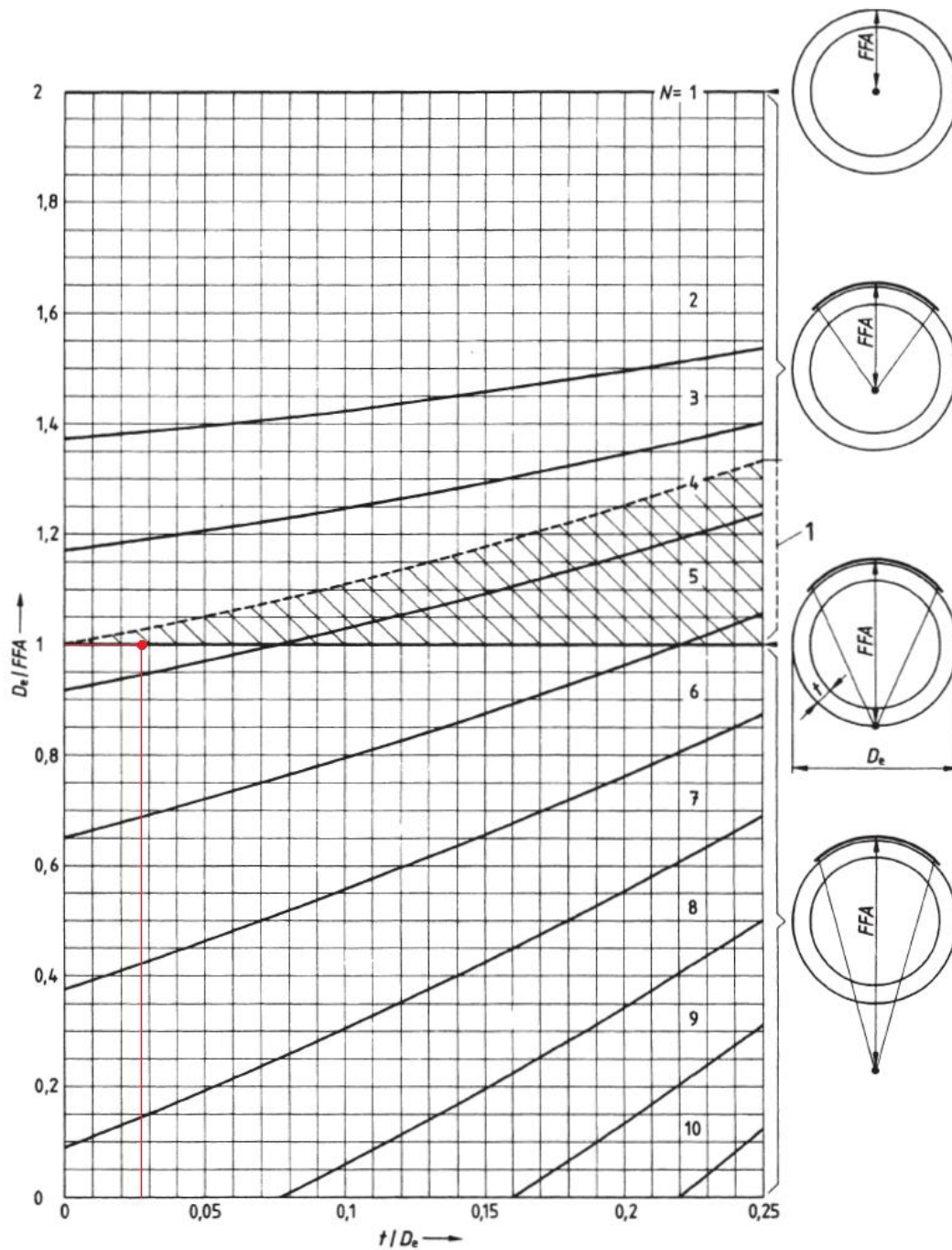
$$\Delta L = \pi \cdot D_e / N \quad (11)$$

Kako bi se izračunala korisna duljina filma za određenu tehniku potrebno je znati broj ekspozicija. Broj ekspozicija se prema normi HRN EN 1435 određuje iz dijagrama minimalnog broja ekspozicija za klasu B, te za traženi aranžman i tehniku iznosi 4 (slika 8. minimalni broj ekspozicija, N , pri prozračavanju dvostrukog zida, za klasu B) [5].

$$De/FFA = 273/273 = 1$$

$$t/De = 0,02674$$

$$N = 4$$



Slika 8. Određivanje broja ekspozicija za kontaktnu tehniku, klasa B [5]

Korisna duljina filma za kontaktnu tehniku iznosi:

$$\Delta L = \pi \cdot 273/4 \quad (12)$$

$$\Delta L = 214,41 \text{ mm}$$

4.1.2 Udaljavanje na udaljenost D od ispitnog predmeta

Povećanjem udaljenosti izvora zračenja nastoji se smanjiti unutarnja neoštrina filma, te samim time povećati kvaliteta radiograma. Udaljenost D (273 mm) od prednje stijenke ispitnog predmeta određena je proizvoljno, a istovjetna je promjeru cijevi.

Kod navedenog je ispitnog aranžmana udaljenost izvor-predmet (13),

$$f = (D_e + D) - b = 537 \text{ mm} \quad (13)$$

$$b = t + r_1 \quad (14)$$

$$b = 7,3 + 2 = 9 \text{ mm}$$

gdje je

f - udaljenost izvor - predmet

D_e - vanjski promjer cijevi

D - udaljenost izvor - prednja stijenka cijevi

t - nominalna debljina stijenke cijevi

b – udaljenost predmet - film

r_1 – nadvišenje zavara

stoga je uvijet minimalne udaljenosti izvor predmet također zadovoljen, te glasi:

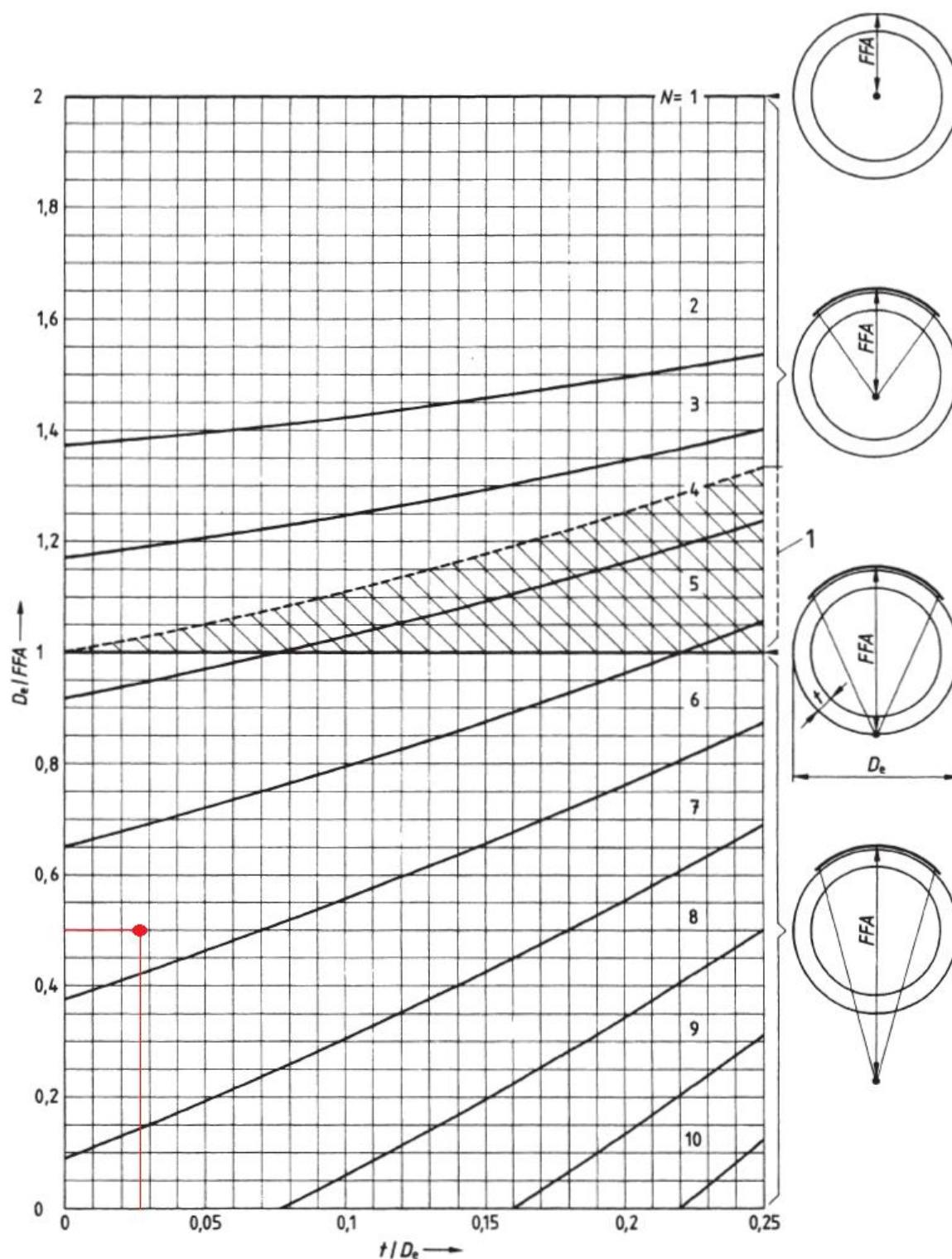
$$f = 537 \text{ mm} \geq f_{min}$$

Broj ekspozicija za navedenu tehniku i traženu klasu [5]:

$$De/FFA = 273/546 = 0,5$$

$$t/De = 0,02674$$

$$N = 6$$



Slika 9. Određivanje broja ekspozicija za tehniku udaljavanja na udaljenost D od ispitnog predmeta za klasu B [5]

Korisna duljina filma za tehniku udaljavanja na udaljenost D od ispitnog predmeta iznosi (13):

$$\Delta L = \pi \cdot 273/6 \quad (15)$$

$$\Delta L = 142,94 \text{ mm}$$

4.1.3 Udaljavanje na udaljenost $D/2$ od ispitnog predmeta

Zbog preciznijeg praćenja utjecaja udaljavanja izvora od ispitnog predmeta odabrana je još jedna udaljenost. Udaljenost $D/2$ (136,5 mm) također je uzeta proizvoljno, a istovjetna je polumjeru cijevi.

Udaljenost izvor-predmet kod udaljenosti $D/2$ (16),

$$f = (D_e + D/2) - b = 400,5 \text{ mm} \quad (16)$$

$$b = t + r_1 \quad (17)$$

$$b = 7,3 + 2 = 9 \text{ mm}$$

gdje je

f - udaljenost izvor - predmet

D_e - vanjski promjer cijevi

$D/2$ - udaljenost izvor - prednja stijenka cijevi

t - nominalna debljina stijenke cijevi

Uvjet minimalne udaljenosti izvor predmet je zadovoljen:

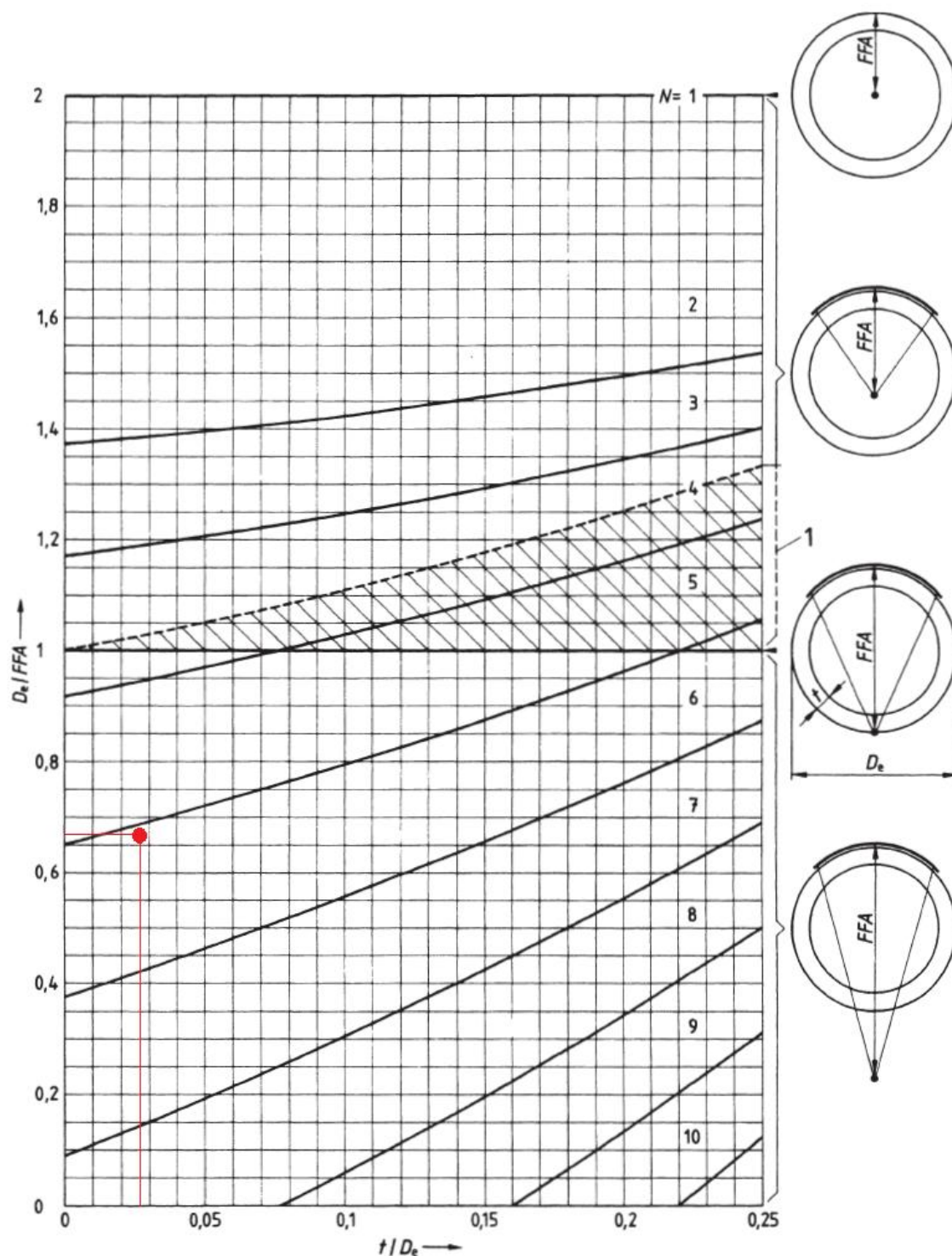
$$f = 400,5 \text{ mm} \geq f_{min}$$

Broj ekspozicija za navedenu tehniku za klasu B [5]:

$$De/FFA = 273/409,5 = 0,667$$

$$t/De = 0,02674$$

$$N = 6$$



Slika 10. Određivanje broja ekspozicija za tehniku udaljavanja na udaljenost $D/2$ od ispitnog predmeta za klasu B [5]

Korisna duljina filma za tehniku udaljavanja na udaljenost $D/2$ od ispitnog predmeta istovjetna je korisnoj duljini filma za D i iznosi (18):

$$\Delta L = \pi \cdot 273/6 \quad (18)$$

$$\Delta L = 142,94 \text{ mm}$$

Kao što je iz računskog dijela vidljivo, sve ispitne tehnike odabranog aranžmana zadovoljavaju minimalne uvjete udaljenosti film - predmet za navedene izvore zračenja, kako za klasu A tako i za klasu B sistema filma.

4.1.4 Priprema ispitnog predmeta

Na vanjskoj strani ispitnog predmeta (cijevi) označena je sa 0 početna točka. Područje interesa ispitivanja nalazi se između 0 i 150 mm po obodu cijevi, a na cijevi je obilježeno olovnim metrom. Ovo područje odabrano je kao područje interesa na temelju izračunatih korisnih duljina filmova, a ravna se prema najmanjoj korisnoj duljini (najmanja korisna duljina filma je kod tehnika s udaljavanjem za D i D/2 od ispitnog predmeta i iznosi 142,29 mm). Na području od 142 mm od početne točke nalazi se indikator kvalitete radiograma (IKR) - 10 FE EN, sa žicom W 14, namješten okomito na radijalni zavar [6].

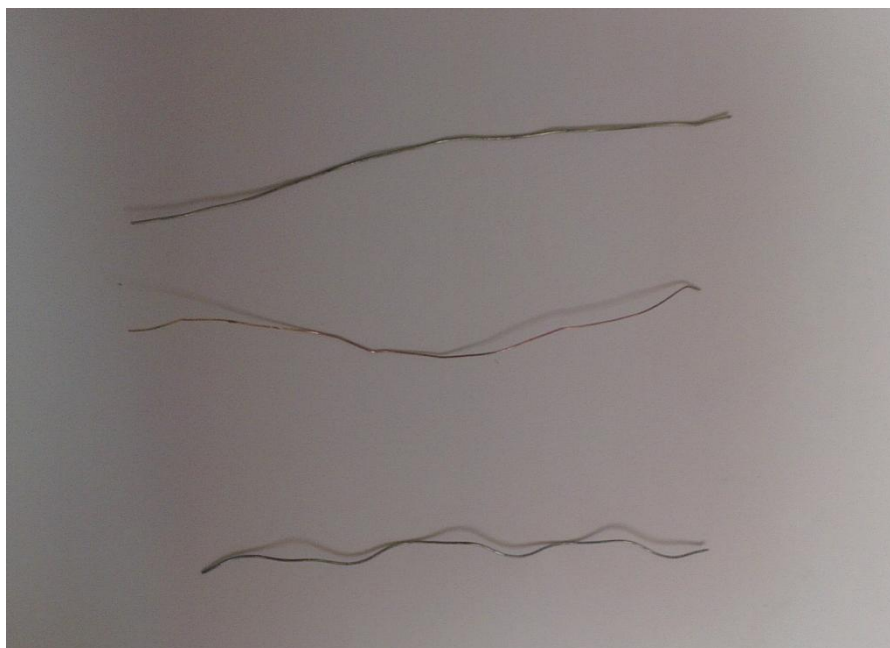
Unutar interesnog područja, između 0 i 100 mm su na vanjskoj stijenci cijevi (udaljenoj od izvora) okomito na zavar naliježljiva 3 seta žica. Svaki set se sastoji od 3 žice različitih materijala i promjera, a slagane su redom:

- bakrena žica promjera $\phi 0,2$ mm,
- bakrena žica promjera $\phi 0,16$ mm,
- čelična žica $\phi 0,2$ mm.

Slikama 11. i 12. Prikazani su indikator kvalitete radiograma, te žice korišteni pri ispitivanju.



Slika 11. Indikator kvalitete radiograma 10 FE EN



Slika 12. Žice korištene pri ispitivanju

Duljina postavljenih žica kako čeličnih tako i bakrenih je 50 mm. Prva žica postavljena na vanjskoj stijenci cijevi je bakrena žica $\phi 0,2$ mm, a smještena je na 10 mm od početne točke, zatim slijede bakrena žica $\phi 0,16$ mm na udaljenosti od 20 mm od početne točke, te čelična žica promjera $\phi 0,2$ mm na udaljenosti od 30 mm od početne točke. Drugi set počinje na udaljenosti od 40 mm od početne točke, te ima isti raspored žica kao i prethodni set (međusobno udaljene 10 mm). Zadnji set žica postavljen je na udaljenost od 70 mm od početne točke i završava na udaljenosti od 90 mm od početne točke. Uz navedena tri postavljen je i četvrti set žica, ali na unutarnjoj strani stijenske cijevi. Žice četvrtog seta imaju jednaki raspored kao i prethodna tri, ali su postavljene radijalno tj. paralelno sa zavarom (udaljene 5 mm od zavara), a udaljene su 2 mm od IKR-a. Priprema ispitnog uzorka prikazana je slikama 9, 10, 11, 12.



Slika 13. Određivanje početne točke, postavljanje olovnog metra



Slika 14. Postavljanje žica na vanjsku stijenku ispitnog predmeta



Slika 15. Postavljanje žica na unutarnju stijenku ispitnog predmeta



Slika 16. Postavljanje indikatora kvalitete radiograma (IKR) na ispitni predmet

4.1.5 Radiografsko ispitivanje zavarenog spoja cijevi

4.1.5.1 Ispitivanje zavarenog spoja cijevi rendgenskim uređajem

Snimanje cijevi rendgenskim uređajem provedeno je kako bi se dobili referentni radiogrami koji bi prikazali željenu vidljivost na radiogramu, na temelju kojih bi se napravila usporedba sa radiogramima snimljenima izotopom iridija.

Rendgenski uređaj postavljen je na udaljenosti od 800 mm od stražnje stijenke cijevi ispitnog predmeta, tj. stijenke koja se pregledava radiogramom, preporučena od proizvođača rendgenskog uređaja.

Parametri rendgenskog ispitivanja očitani su iz dijagrama proizvođača uređaja i iznose:

- napon – 190 kV
- jakost struje – 9 mA
- vrijeme ekspozicije – 1 min



Slika 17. Mjerenje udaljenosti rendgenski uređaj-stražnja stijenka cijevi



Slika 18. Pozicioniranje rentgenskog uređaja

4.1.5.2 Kontaktna tehnika

Izvor zračenja (igla) postavlja se na prednju stijenku ispitnog predmeta pod kutom od oko 30° u odnosu na okomicu. Fokusna točka izvora namještena je da pada na područje od 75 mm od početne točke na olovnom metru. Na vanjsku stranu stijenke cijevi, gdje su pripremljeni setovi žica i indikator, postavlja se film. Film je postavljen tako da u potpunosti prekriva područje interesa. Film se zatim prekriva olovnom folijom debljine 1 mm kako bi se smanjilo raspršeno zračenje. Na stražnjoj olovnoj foliji nalazi se olovna oznaka B, koja ukazuje na postojanje raspršenog zračenja. Ispitni aranžman kod kontaktne tehnike prikazan je slikom 19.



Slika 19. Pozicioniranje izotopa kod kontaktne tehnike

Ispitivanje je provedeno sa dva izotopa različite aktivnosti i dimenzije izvora:

- izotop Ir192, veličine izvora $2,7 \times 1,5$ mm, aktivnosti 5,87 Ci na dan ispitivanja,
- izotop Ir192, veličine izvora $2,64 \times 2,0$ mm, aktivnosti 8,30 Ci, 8,22 Ci na dane ispitivanja.

Korištena su dva tipa filmova:

- Agfa Strukturix D4 dimenzija 100×240 mm,
- Agfa strukturix D7 dimenzija 100×240 mm.

Filmovi su razvijani u dva sistema kemikalija:

- stari razvijač,
- novi razvijač.

Korištena su dva sistem folija:

- vakuum pakiranje (prednja i stražnja folija debljine 0,03 mm) bez dodatne prednje folije,
- vakuum pakiranje (prednja i stražnja folija debljine 0,03 mm) sa dodatnom prednjom folijom debljine 0,09 mm postavljenom između filma i predmeta ispitivanja.

U želji da se kvaliteta radiograma približi kvaliteti dobivenoj rentgenskim uređajem, eksperimentalno se ispituje mogućnost poboljšanja kvalitete radiograma dodavanjem dodatne prednje olovne folije debljine 0,09 mm (3 folije od 0,03 mm) između ispitnog predmeta i filma, dopušteno normom HRN EN 1435, tablica 2.

U svrhu lakšeg praćenja rezultata ispitivanja, svaka od navedenih kombinacija označena je posebnom slovnim oznakom (slovne oznake nalaze se i na radiogramima).

Vremena ekspozicije za svaku pojedinu kombinaciju prikazana su tablicom 1., a izračunata su uz pomoć kalkulatora AGFA NDT FILM SYSTEM - NBBDN (2007) GE INSPECTION TECHNOLOGIES, dobivenog od strane proizvođača filmova.

Tablica 1. Vrijeme ekspozicija kod kontaktne tehnike za korištene izotope i klase sistema filmova

IZOTOP KLASA FILMA	6 Ci	8 Ci
D 4	9 min	7 min
D 7	3,30 min	2,40 min

4.1.5.3 Udaljavanje na udaljenost D od ispitnog predmeta

Izotop (igla) postavlja se na udaljenost od 273 mm od vanjske stijenke ispitnog predmeta. Cijev se zakreće kako bi fokusna točka pala u područje 75 mm od početne točke, kao i kod kontaktne tehnike. Na stražnju stijenku cijevi postavlja se film i prekriva olovnom folijom debljine 1 mm. Pozicioniranje izotopa prikazano je slikom 20.



Slika 20. Pozicioniranje izotopa kod tehnike udaljavanja na udaljenost D

Budući da je izračunato vrijeme ekspozicije kod udaljavanja na udaljenost D od ispitnog predmeta veliko i iznosi 28 min za D4 film, upitna je isplativost ove tehnike. Kako bi se ipak provjerila oštrina slike koja se dobila sa udaljavanjem izvora od predmeta ispitivanja provodi se eksperimentalno snimanje. Filmovi korišteni pri ispitivanju bili su klase D4, a odabir filma vođen je pretpostavkom da će se na filmovima veće kvalitete jasnije vidjeti detalji.

Ispitivanje je provedeno sa izotopom aktivnosti i dimenzije izvora:

- izotop Ir192, veličine izvora 2,64×2,0mm, aktivnosti 8,30 Ci na dan ispitivanja.

Korišteni tip filma:

- Agfa Strukturix D4 dimenzija 100×240 mm,

Filmovi su razvijani u dva sistema kemikalija:

- stari razvijač,
- novi razvijač.

Uspoređujući razvijene filmove sa onima snimljenima kontaktnom tehnikom, a snimanim pod istim uvjetima (uspoređivani prema kriteriju aktivnosti i dimenziji izotopa, klasi filma i prema razvijaju), dolazi se do zaključka kako se udaljavanjem od ispitnog predmeta nisu ostvarili očekivani pomaci ka boljoj kvaliteti slike. Imajući u vidu neisplativost izvođenja ovakve tehnike, a uzimajući u obzir i dobivene rezultate, odustaje se od daljnjih ispitivanja ovom tehnikom.

Tablica 2. Vrijeme ekspozicija kod tehnike udaljavanja na udaljenost D za korištene izotope i klase sistema filmova

IZOTOP KLASA FILMA	6 Ci	8 Ci
D 4	-	28 min
D 7	-	-

4.1.5.4 Udaljavanje na udaljenost D/2 od ispitnog predmeta

Izotop (igla) postavlja se na udaljenost od 136 mm od vanjske stijenke ispitnog predmeta. Fokusna točka pada unutar interesnog područja na udaljenost od 75 mm od početne točke, kao i kod prethodno navedenih tehnika. Na stražnju stijenku cijevi postavlja se film i prekriva olovnom folijom debljine 1 mm. Pozicioniranje izotopa prikazano je slikom 21.

Izračunato vrijeme ekspozicije dvostruko je manje od tehnike opisane u prethodnom poglavlju, ali se i dalje postavlja pitanje isplativosti u odnosu na dobivenu kvalitetu filma uspoređujući ih sa kontaktnom tehnikom. Kao i kod tehnike udaljavanja na udaljenost D od ispitnog predmeta provode se eksperimentalna snimanja vođena istim pretpostavkama.



Slika 21. Pozicioniranje izotopa za tehniku udaljavanja na udaljenost D/2 od ispitnog predmeta

Ispitivanje je provedeno sa izotopom aktivnosti i dimenzije izvora:

- izotop Ir192, veličine izvora 2,64×2,0 mm, aktivnosti 8,30 Ci na dan ispitivanja.

Korišteni tip filma:

- Agfa Strukturix D4 dimenzija 100×240 mm,

Filmovi su razvijani u dva sistema kemikalija:

- stari razvijач,
- novi razvijач.

Rezultati ispitivanja vrlo su slični onima dobivenima tehnikom udaljavanja na udaljenost D od ispitnog predmeta, pa se u daljnjim ispitivanjima odustaje od provođenja ispitivanja ovom tehnikom.

Tablica 3. Vrijeme ekspozicija kod tehnike udaljavanja na udaljenost D/2 za korištene izotope i klase sistema filmova

IZOTOP KLASA FILMA	6 Ci	8 Ci
D 4	-	14 min
D 7	-	-

4.1.5.5 Razvijanje filmova

Nakon prozračavanja filmovi se razvijaju u tamnoj komori. Dio filmova razvija se u novoj, dok je dio razvija se u staroj kemiji. Vremena razvijanja, fiksiranja i pranja jednaka su za sve filmove, a postupak je proveden redom:

- razvijanje – nakon uklanjanja zaštitnih folija film je stavljen u razvijач temperature 21 °C u kojem je bio uronjen 7 minuta.
- međupranje – nakon razvijanja film je uronjen u vodu u kojoj je stajao 5 minuta
- fiksiranje – nakon međupranja, film se uranja u fiksir u kojem je bio uronjen 14 minuta.
- ispiranje – nakon fiksiranja film se stavlja u kadu za ispiranje u kojoj je bio uronjen 20 minuta.
- sušenje

4.1.5.6 Pregled filmova i analiza rezultata

Nakon sušenja, filmovi se popisuju i mjere im se zacrnjenja. Kao što je bilo navedeno u poglavlju *Oprema za pregled i ocjenjivanje filmova* zacrnjenje je mjereno u dvije točke. Budući da je promatrana, odnosno tražena žica W 14 na indikatoru kvalitete radiograma, mjerenje zacrnjenja biti će provedeno upravo na tom području i to u točki na osnovnom materijalu (D_1) i točki na zavaru (D_2). Prije mjerenja zacrnjenja za svaki film je na denzitometru određena „0“, prema luminaciji iluminatora. Izmjerene vrijednosti (D_1 i D_2) su zabilježene, a kretale su se u rasponu od 2,85 – 3,7 za osnovni materijal (D_1), te 2,64 – 3,55 za zavar (D_2).

Filmovi su zatim pregledani i njihove vrijednosti upisane u tablicu. Tablicama 4., 5. i 6. prikazani su dobiveni rezultati.

Filmovi su ocjenjivani prema vidljivosti žica u pet kategorija:

- vidljivosti žica IKR-a
- vidljivosti žica Cu 0,2, poprečnih na zavar; promatrana svaka žica posebno
- vidljivosti žica Cu 0,16, poprečnih na zavar; promatrana svaka žica posebno
- vidljivosti žica Fe 0,2, poprečnih na zavar; promatrana svaka žica posebno
- vidljivosti četvrtog seta žica, paralelnog sa zavarom, na unutarnjoj strani stijenke; promatrana svaka žica posebno

Slika 22. prikazuje raspored ispitnih žica na radiogramu

U tablicama 4., 5. i 6. su pored procjene rezultata, zabilježeni i iznosi zacrnjenja (D_1 i D_2) za svaki pojedini film. Vidljivost žica opisana je izrazima vidljiva, nazire se i nije vidljiva, koji su označeni različitim bojama, radi bolje preglednosti samih tablica.

Unutar pojedinih kategorija (6 ili 8 Ci; bez i sa folijama) filmovi su ocjenjivani međusobno. Međusobna usporedba upisana je u zadnji redak svakog filma. Odnosi su + (bolji), - (lošiji) ili = (jednak) u odnosu na neki film, a najbolji iz kategorije označen je crvenom bojom. Kućice najkvalitetnijih filmova ostvarenih s određenim izvorom zračenja (za izotop 6 Ci i izotop 8 Ci), obojene su plavom bojom.

Kako je već prije navedeno, radiogrami su označavani slovno-broječanim oznakama (slika 22), kao npr.

K6-D4-SR-3F

K6 – kontaktna tehnika, izvor 6 Ci

D4 – klasa sistema filma

SR – stari razvijач

3F – dodatne prednje folije

U tablicama su korištene slijedeće kratice:

SR – stari razvijatelj

NR – novi razvijatelj

D4 – klasa filma

D7 – klasa filma

OM – osnovni materijal

Z – zavareni spoj

X – prozračavano rentgenskim uređajem

D – tehnika udaljavanja izvora na D udaljenost od ispitnog predmeta

D/2 – tehnika udaljavanja izvora na D/2 udaljenost od ispitnog predmeta

D1 – zacrtnjenje filma na osnovnom materijalu

D2 – zacrtnjenje filma na zavaru

IKR – indikator kvalitete radiograma

Tablica 4. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog rendgenskim uređajem

Izvor	Razvijatelj	D4		D7	
X	NR	ZACRNJENJE	D ₁ – 3,56 D ₂ – 2,74	ZACRNJENJE	D ₁ – 3,40 D ₂ – 2,50
		IKR	W10, W11, W13, W14, W15 vidljive W16 nazire se	IKR	W10, W11, W13, W14, W15 vidljive
		Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
		Cu 0,16	1. vidljiva cijela, uz lupu 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,16	1. vidljiva cijela, uz lupu 2. vidljiva cijela, uz lupu 3. vidljiva cijela
		Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
		Radikalne	Cu 0,2 – vidljiva cijela Fe 0,2 – vidljiva cijela Cu 0,16 – vidljiva cijela uz lupu	Radikalne	Cu 0,2 – vidljiva cijela Fe 0,2 – vidljiva cijela Cu 0,16 – vidljiva cijela uz lupu

Tablica 1. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog izotopom iridija aktivnosti 6 Ci, kontaktna tehnika

Izvor		Razvijač	D4		D7	
6 Ci	BEZ FOLIJA	SR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,56 D ₂ - 3,32	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,40 D ₂ - 3,21
			IKR	W10, W11, W12 vidljive W13 nazire, vidljiva > 1 cm na OM	IKR	W10, W11, W12 vidljive W13 vidljiv > 1 cm W14 nazire se – nemjerljivo
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva	Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nazire dio iznad Z < 1 cm 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. vidljiva cijela na OM, Z s lupom 2. vidljiva cijela 3. vidljiva na OM > 1 cm, Z nije vidljiv	Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva na OM, na Z vidljiv dio
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva	Radijalne	Cu 0,2 vidljiva
			(-) u odnosu na K6-D7-SR		(+) u odnosu na K6-D4-SR, K6-D4-NR i K6-D7-NR	
		NR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,57 D ₂ - 3,28	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,67 D ₂ - 3,49
			IKR	W10, W11, W12 vidljive W13 nazire > 1 cm na OM	IKR	W10, W11, W12 vidljive W13 nazire > 1 cm na OM
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva	Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nazire, nemjerljivo 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva na OM, Z s lupom 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. vidljiva na OM, Z vidljiv dio 2. vidljiva na OM, Z vidljiv dio 3. nazire, nemjerljivo
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva > 1 cm	Radijalne	Cu 0,2 vidljiva > 1 cm
			(=) sa K6-D7-NR; (-) u odnosu na K6-D7-SR		(=) sa K6-D4-NR	
	SA FOLIJAMA	SR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,11 D ₂ - 2,9	ZACRNJENJE	D ₁ - 2,85 D ₂ - 2,64
			IKR	W10, W11, W12 vidljive W13 vidljiv > 2 cm W14 vidljiva > 1 cm, na Z vidljiv dio	IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele W13 vidljiv > 1 cm na OM W14 nazire
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nazire se 2. nazire se 3. nazire se	Cu 0,16	1. nazire se 2. nije vidljiva 3. nazire se
			Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. vidljiva cijela na OM, Z nije vidljiv dio 2. vidljiva cijela 3. vidljiva na OM, zavar ne
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva cijela Fe 0,2 nazire > 2,5 cm	Radijalne	vidljiva 0,2 Cu > 2 cm
			(+) u odnosu na K6-D7-SR-3F i K6-D4-NR-3F		(-) u odnosu na K6-D4-SR-3F	
		NR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,56 D ₂ - 3,32	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,61 D ₂ - 3,42
			IKR	W10, W11, W 12 vidljive W13 vidljiva > 1,5 cm W14 nazire, nemjerljivo	IKR	W10, W11, W12 vidljive W13 nazire
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nazire se 0,5 cm 2. nije vidljiva 3. nazire se, nemjerljivo	Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. nazire uz lupu, nemjerljivo 2. vidljiva na Z 3. vidljiva na OM
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva > 3,5 cm Fe 0,2 nazire se	Radijalne	Cu 0,2 nazire se
			+ u odnosu na K6-D7-NR-3F; - u odnosu na K6-D4-SR-3F		(-) u odnosu na K4-D7-NR-3F	

Tablica 2. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog izotopom iridija aktivnosti 8 Ci, kontaktna tehnika

Izvor		Razvijač	D4		D7	
8 Ci	BEZ FOLIJA	SR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,6 D ₂ - 3,32	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,3 D ₂ - 3,17
			IKR	W10, W11, W12 vidljive	IKR	W10, W11, W12 vidljive
				W13 nazire se > 1 cm		W13 nazire se 1 cm
				W14 nazire se		W14 nazire se
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nazire se > 1 cm OM i zavar	Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. vidljiv dio na Z 3. nazire se na OM
			Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva cijela	Radijalne	Cu 0,2 vidljiva cijela Fe 0,2 nazire se 1 cm
			(=) sa K8-D7-SR		(=) sa K8-D4-SR	
		NR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,7 D ₂ - 3,55	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,64 D ₂ - 3,39
			IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele	IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele
				W13 nazire se 1 cm		W13 nazire se na Z
				W14 nazire se na OM		W14 nazire se na Z
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva	Cu 0,16	1. nazire se 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. vidljiva na OM, na Z ne 2. nazire se 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. vidljiva na OM, na Z vidljiv dio 2. vidljiva na Z, Dio na OM 3. vidljiva na OM, zavar ne
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva cijela	Radijalne	Cu 0,2 vidljiva
			(-) u odnosu na K8-D7-NR		(+) u odnosu na K8-D4-NR, K8-D4-SR i K8-D7-SR	
	SA FOLIJAMA	SR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,61 D ₂ - 3,32	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,35 D ₂ - 3,19
			IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele	IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele
				W13 vidljiva >1 cm na OM, Z nazire		W13 nazire se
				W14 nazire se		W14 nazire se
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nazire se > 1cm 3. nazire, isprekidana, cijelom dužinom	Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nazire se 3. nazire se
			Fe 0,2	1. vidljiva cijela na OM, zavar dio 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. nazire se 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva cijela Fe 0,2 nazire > 1,5 cm	Radijalne	nisu vidljive
			(+) u odnosu na K8-D7-SR-3F		(-) u odnosu na K8-D4-SR-3F	
		NR	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,12 D ₂ - 2,9	ZACRNJENJE	D ₁ - 3,17 D ₂ - 2,97
			IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele	IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele
				W13 nazire se > 1,5 cm		W13 nazire se > 1,5 cm
				W14 > 1 cm, W 15 nazire se, nemjerljivo		W14 > 1 cm
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nazire se 3. vidljiva na OM cijela, zavar dio	Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nazire se na OM 3. nazire se na zavaru i na OM
			Fe 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela	Fe 0,2	1. vidljiva na OM, zavar ne 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Radijalne	Cu 0,2 vidljiva cijela Fe 0,2 - nazire se > 1,5 cm	Radijalne	Cu 0,2 vidljiva cijela Fe 0,2 - nazire se, nemjerljivo
			(+) u odnosu na K8-D7-NR-3F i K8-D4-SR-3F		(-) u odnosu na K8-D4-NR-3F	

Tablica 3. Vidljivost žica na filmu ispitnog uzorka prozračenog izotopom iridija aktivnosti 8 Ci, sa tehnikama udaljavanja D i D/2

Izvor	Tehnika	Razvijač	D4	
8 Ci	D	SR	ZACRNJENJE	D ₁ – 3,5 D ₂ – 3,25
			IKR	W10, W11, W12 vidljive
				W13 nazire se, nemjerljivo
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. nazire se 2. nazire se 3. nazire se > 1 cm
		NR	Radikalne	Cu 0,2 nazire se Fe0,2 nazire se dio < 1 cm
			ZACRNJENJE	D ₁ – 3,4 D ₂ – 3,15
			IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela na OM, na Z ne 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. nazire se, nemjerljivo 2. nazire se 3. vidljiv dio na zavru = 1 cm
			Radikalne	Cu 0,2 vidljiva > 1 cm
	D/2	SR	ZACRNJENJE	D ₁ – 3,1 D ₂ – 2,9
			IKR	W10, W11 vidljive cijele
				W12 nazire se na OM > 1 cm, na Z ne
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva
		NR	Radikalne	Cu 0,2 nazire se, nemjerljivo
			ZACRNJENJE	D ₁ – 3,2 D ₂ – 2,97
			IKR	W10, W11, W12 vidljive cijele
				W13 nazire se
			Cu 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela
			Cu 0,16	1. nije vidljiva 2. nije vidljiva 3. nije vidljiva
			Fe 0,2	1. nije vidljiva 2. vidljiva > 1 cm 3. nazire se, nemjerljivo
			Radikalne	Cu 0,2 vidljiva > 1 cm

Kombinacijom parametara različitog ispitnog aranžmana, različitih izvora zračenja, razreda osjetljivosti filmova, različitog sistema folija, te korištenjem različitog sistema kemikalija za razvijanje filmova nastoji se približiti kvaliteti radiograma klase B.

U želji da se smanje unutarnje neoštrine, provedena su ispitivanja s udaljavanjem izvora zračenja od ispitnog predmeta (smanjivanje veličine izvora). Unatoč teoretskim podlogama, provedena ispitivanja nisu dala očekivane rezultate. U oba slučaja udaljavanja izvora (D i D/2) dobivena je lošija kvaliteta radiograma u odnosu na kontaktnu tehniku, uz značajno povećanje vremena ekspozicije.

Također, neočekivani rezultati dobiveni su i kod ispitivanja kontaktnom tehnikom. Prvenstveno se to odnosi na postignutu veću vidljivost na filmovima razreda osjetljivosti D7 u odnosu na filmove D4, kada između ispitnog predmeta i filma nisu umetnute dodatne prednje folije.

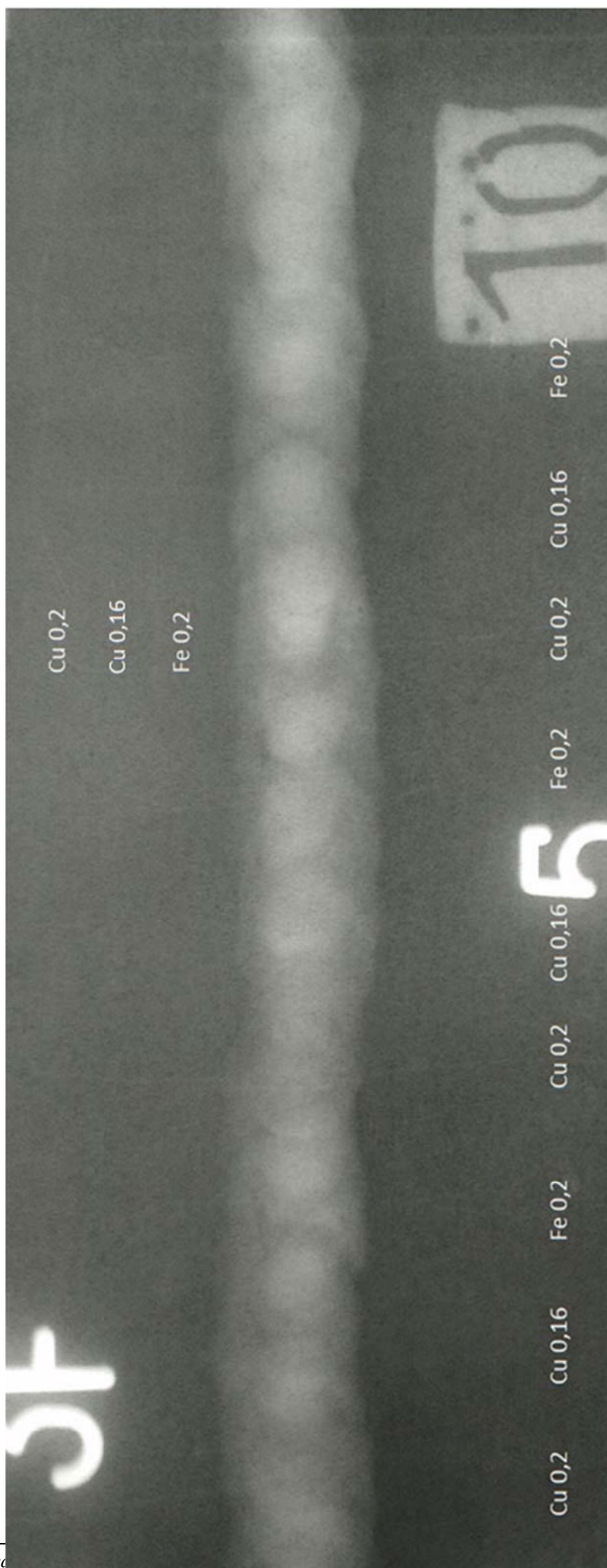
Umetanjem dodatnih folija se zbog pojačanja efekta zračenja, postigla veća vidljivost na filmovima u odnosu na filmove bez dodatne prednje folije. Navedeni efekt posebno dolazi do izražaja kod filmova klase D4, koji u tim slučajevima pokazuju osjetno bolje rezultate u odnosu na filmove klase D7.

Radiogrami na kojima je postignuta vidljivost žice W14, zapisana sa „nazire se“, zbog nemjerljivih karakteristika te moguće subjektivnosti procjene vidljivosti, nisu uzeti u obzir kao filmovi na kojima se postigla tražena kvaliteta radiograma.

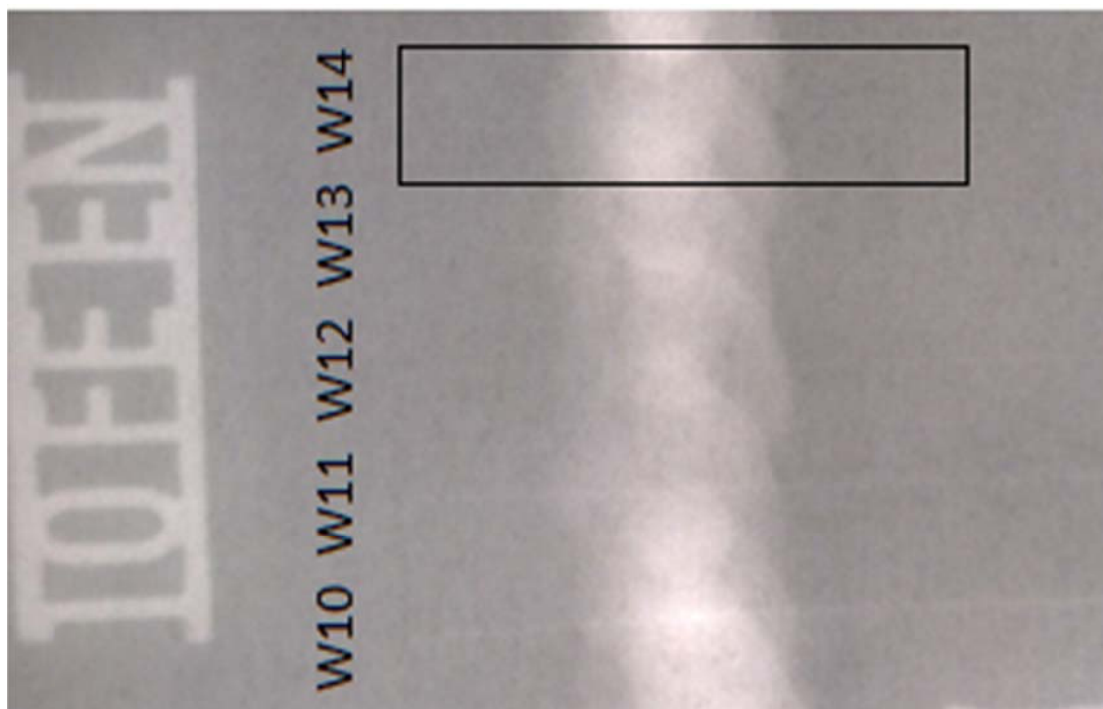
Na radiogramima K6-D4-SR-3F, K8-D4-NR-3F i K8-D7-NR-3F postignuta je vidljivost žice W14 mjerljivih karakteristika (> 10 mm), stoga se za navedene može reći da se postigla tražena kvaliteta radiograma.



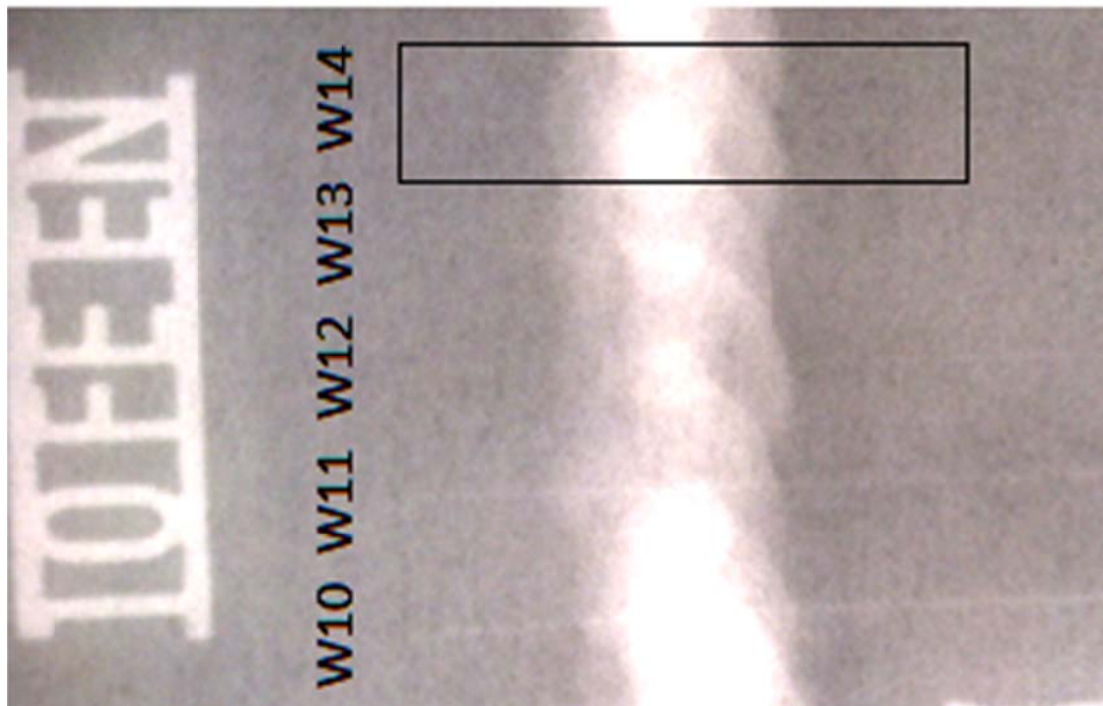
Slika 22. Oznake na radiogramu



Slika 23. Raspored ispitnih žica na radiogramu

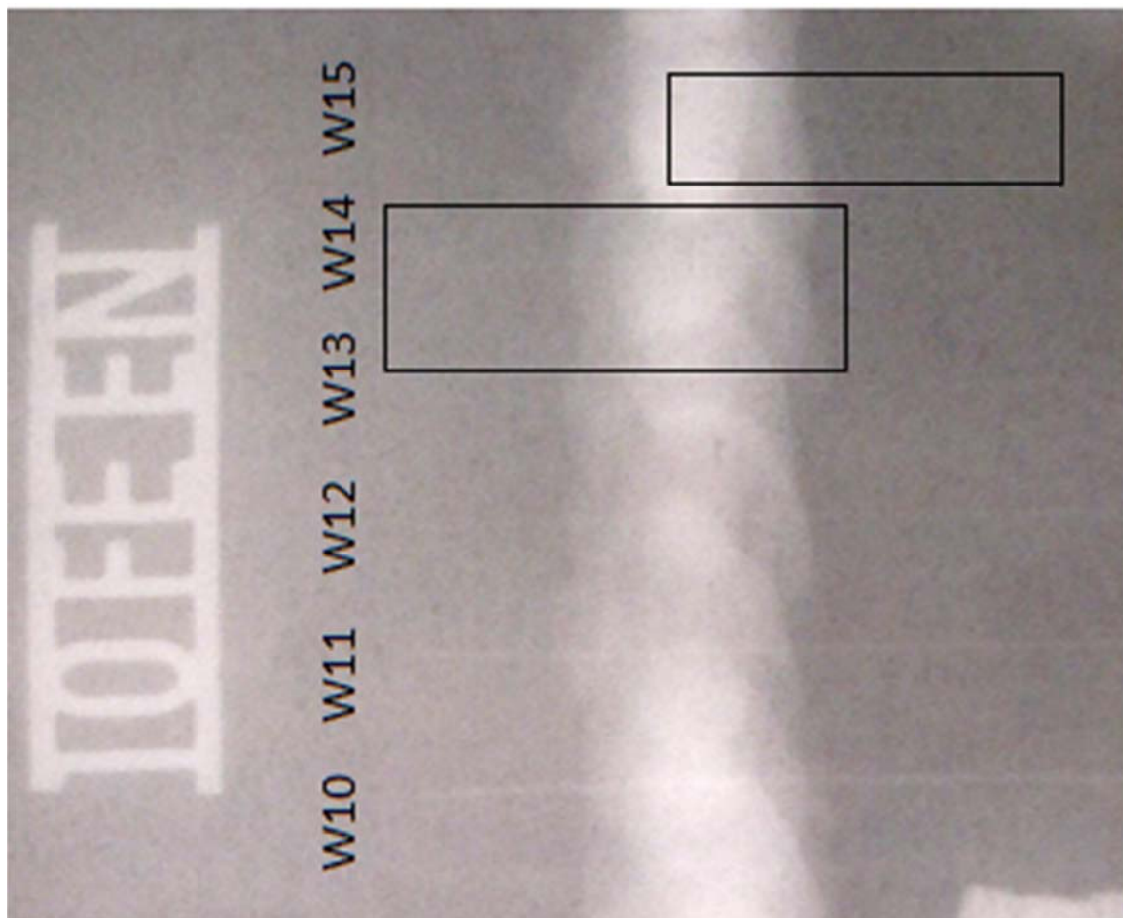


a) slikan fotoaparatom

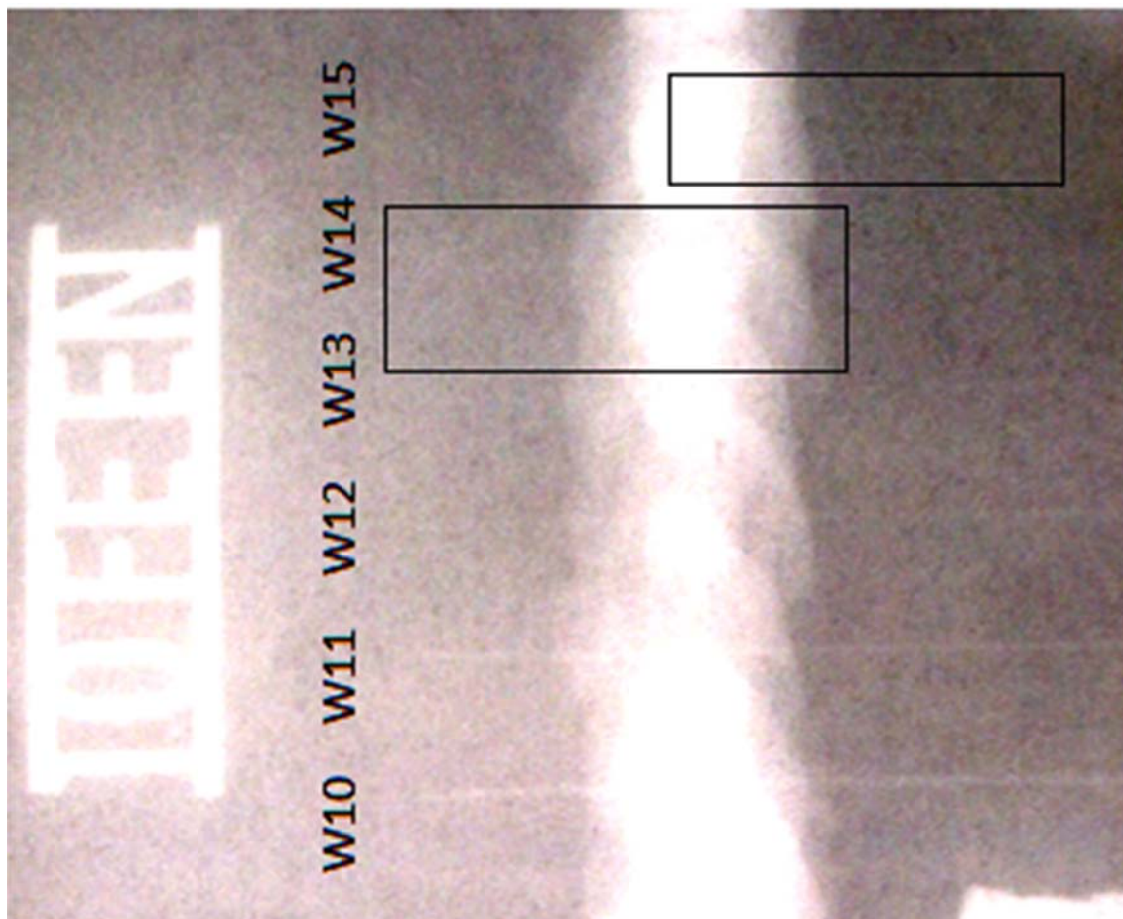


b) slikan fotoaparatom, fotografija sa smanjenim osvjetljenjem (3 %) i povećanim kontrastom(50 %)

Slika 24. Radiogram K6-D4-SR-3F



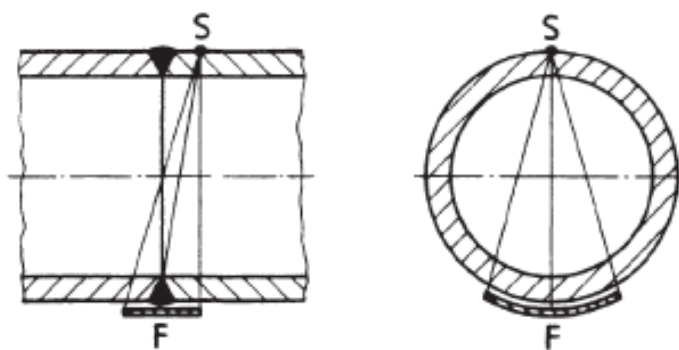
a) slikan fotoaparatom

b) slikan fotoaparatom, fotografija sa smanjenim osvetljenjem (3 %)
i povećanim kontrastom (50 %)**Slika 15. Radiogram K8-D4-NR-3F**

4.2 Ispitivanje mogućnosti smanjenja broja ekspozicija za kontaktnu tehniku radiografskog ispitivanja čeličnih cijevi

Ispitivanja su provedena kako bi se utvrdila mogućnost smanjenja broja ekspozicija za određenu tehniku prozračavanja čeličnih cijevi propisana normom HRN EN 1435, a da se ne naruši kvaliteta radiograma. S obzirom na dimenzije cijevi i svrhu ispitivanja, kao aranžman ispitivanja odabrana je tehnika prozračavanja dvostrukog zida sa dobivanjem pojedinačne slike (ispitni aranžman prikazan je slikom 1.). Izvor zračenja i film nalaze se izvan ispitnog predmeta, a film se postavlja na suprotnu stranu od izvora. IKR će pri ovom ispitnom aranžmanu biti postavljen na stranu filma. Zbog svoje široke primjene u praksi kod radiografskog ispitivanja čeličnih cijevi za navedeni ispitni aranžman, ispitivanja će se provesti kontaktnom tehnikom (opisana u poglavlju 4.1.5.2)

Na temelju rezultata dobivenih iz ispitivanja mogućnosti postizanja klase B radiograma odabiru se izotop, tehnika snimanja i sistemi filmova koji su pokazali najbolje rezultate.



Slika 26. Aranžman korišten pri ispitivanju, prema HRN EN 1435 [5]

Kako bi se provjerila mogućnost uporabe odabranog aranžmana i tehnike potrebno je preispitati zahtjev za minimalnu udaljenost izvor-film za korišteni izvor. U poglavlju 4.1 računski su ustanovljeni minimalni iznosi udaljenost izvor-film za izotop Ir192 veličine izvora 2,32 mm i iznose:

Za klasu A:

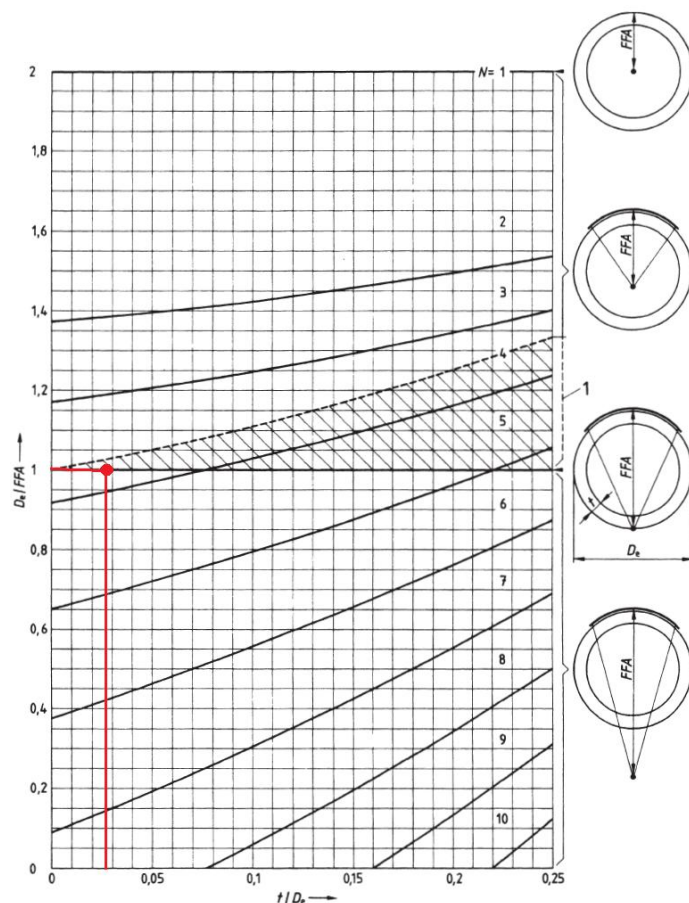
$$f_{min} \geq 66,04 \text{ mm}$$

Za klasu B:

$$f_{min} \geq 132,09 \text{ mm}$$

Budući da je kod kontaktne tehnike udaljenost izvor - film 273 mm, ovi uvjeti su zadovoljeni za postizanje obije klase kvalitete radiograma. U daljnjoj razradi ispitnog zadatka naglasak će se zbog zahtjeva staviti na klasu B.

Prema normi HRN EN 1435, se za postizanje klase B odabranim ispitnim aranžmanom, minimalni broj ekspozicija očitava iz dijagrama [5].



Slika 27. Određivanje broja ekspozicija za kontaktnu tehniku, klasa B [5]

Budući da su vrijednosti:

$$De/FFA = 273/273 = 1$$

$$t/De = 0,02674,$$

minimalni broj ekspozicija $N = 4$

Za određivanje korisne duljine filma za odabrani ispitni aranžman i tehniku, poštujući minimalni broj ekspozicija propisan normom koristi se izraz:

$$\Delta L = \pi \cdot D_e / N \quad (19)$$

Za **N = 4**, ΔL iznosi (20):

$$\Delta L = \pi \cdot 273/4 \quad (20)$$

$$\Delta L = \mathbf{214,41 \text{ mm}} = \Delta L_1$$

Kako bi se ispitala mogućnost smanjenja broja ekspozicija i odredilo interesno područje potrebno je izračunati korisnu duljinu filma za broj ekspozicija $N = 3$.

Za **N = 3**, ΔL iznosi (21):

$$\Delta L = \pi \cdot 273/3 \quad (21)$$

$$\Delta L = \mathbf{285,88 \text{ mm}} = \Delta L_2$$

Područje interesa (PI) određeno prema izračunatim vrijednostima korisne duljine filmova za $N=3$ i $N=4$ je upravo razlika korisnih duljina navedenih ekspozicija i iznosi:

$$PI = \Delta L_2 - \Delta L_1 = 285,88 - 214,41 \quad (22)$$

$$\mathbf{PI = 71,47 \text{ mm}}$$

Kako bi se što bolje pratile vrijednosti dobivene u području interesa za vrijeme ispitivanja, u plan ispitivanja uvodi se još jedna vrijednost (ΔL_3) određena na temelju aritmetičke sredine dviju korisnih duljina filma.

$$\Delta L_3 = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{2} \quad (23)$$

$$\Delta L_3 = \frac{214,41 + 285,88}{2} = \mathbf{250,15 \text{ mm}}$$

Na temelju dobivenih korisnih duljina filmova određuju se tri ispitna područja:

- A – ispitno područje 215 mm,
- B – ispitno područje 250 mm,
- C – ispitno područje 285 mm.

4.2.1 Priprema ispitnog predmeta

Kao i u prethodnom ispitivanju, ispitni predmet je čelična cijev promjera $\phi 273$ mm, duljine 252 mm, debljine stijenke 7,3 mm. Područje promatranja na radiogramu nalazi se između 0 i 350 mm po obodu cijevi, a na cijevi je obilježeno olovnim metrom. Na cijevi se označavaju krajnje granice korisnih duljina filmova u odnosu na već određenu početnu točku 0 (Slika 28.).

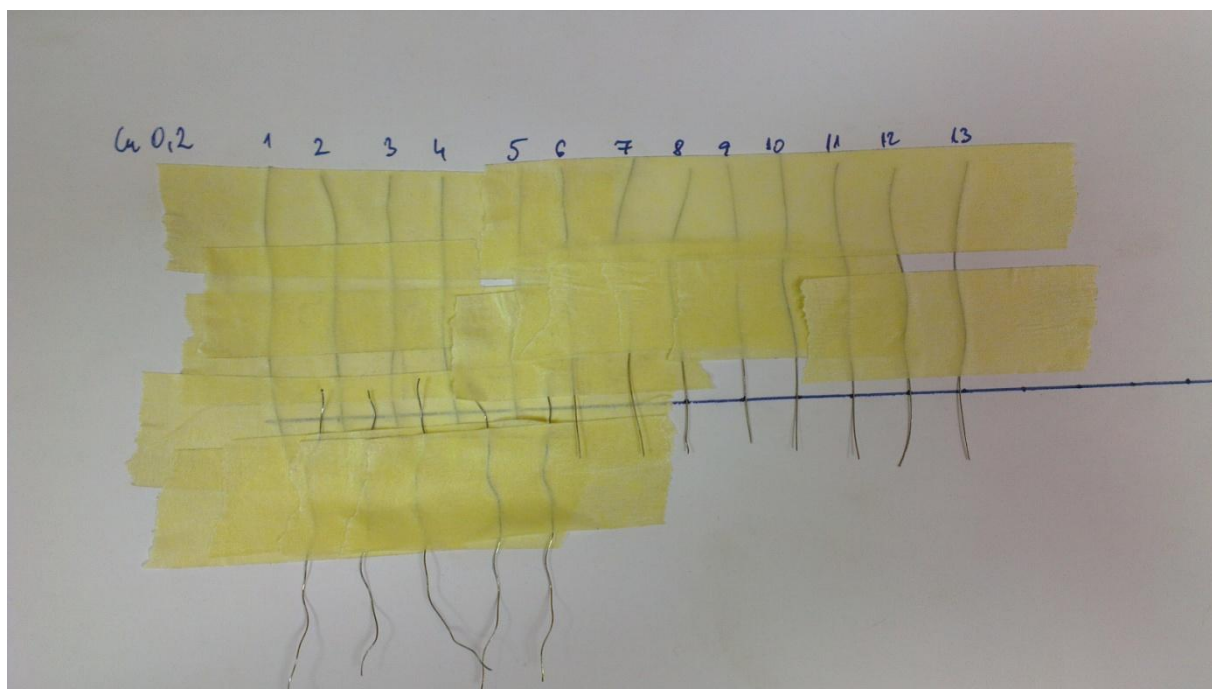


a) početna točka 0

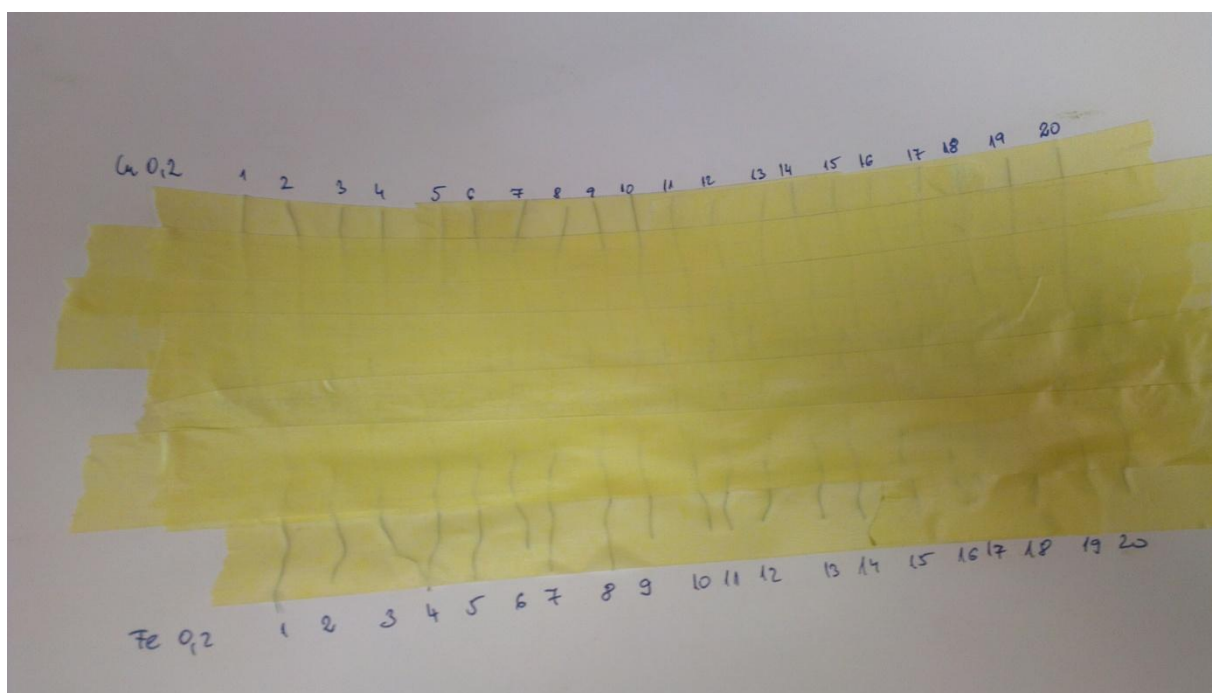
b) granice korisnih duljina filmova ΔL_1 i ΔL_2

Slika 28. Ucertavanje granica korisnih duljina filmova

Za potrebe ispitivanja pripremljen je set žica sastavljen od bakrenih i čeličnih žica, koji će za vrijeme ispitivanja biti postavljen na područje interesa. Slikom 29. prikazan je set žica u postupku izrade, dok je slikom 30. prikazan izrađeni set. Set žica sastavljen je od bakrenih i čeličnih žica promjera $\phi 0,2$ mm, duljine 50 mm. Žice su postavljane na papir sa ucertanim mjernim metrom, koji služi za točnije pozicioniranje a ujedno i označava područje zavar. Bakrene žice su postavljane okomito na metar, tako da svake žica siječe metar sa iznosom duljine od oko 40 mm iznad metra i 10 mm ispod metra. Prva žica postavljena je na iznos 0 mm, dok je zadnja postavljena na iznos od 200 mm (20 žica). Žice su međusobno razmaknute po 10 mm. Čelične žice su također postavljane okomito na metar i sijeku ga, ali su pozicionirane tako da je iznos duljine žice iznad metra 10 mm, a ispod metra 40 mm. Čelične žice postavljane su između bakrenih (s donje strane metra), a prva je postavljena na vrijednost 5 mm. Razmak između čeličnih žica je također 10 mm, tako da se zadnje postavljena čelična žica nalazi vrijednosti od 205 mm.



Slika 29. Ispitni set žica u postupku izrade



Slika 30. Ispitni set žica

Pri ispitivanju korištena su dva indikatora kvalitete radiograma oba postavljena na stražnjoj stijenci cijevi. Prvi IKR (IKR_1) postavljen je zrcalno (s lijeva na desno žice idu od tanje prema debljoj) okomito na zavar u području početne točke, sa žicom W14 na početnoj točki za sva ispitna područja. Drugi IKR (IKR_2) također se postavlja okomito na zavar, ali ovisno o ispitivanoj korisnoj duljini (tri pozicije - 215, 250 i 285 mm od početne točke), sa žicom W14 na krajnjoj granici korisne duljine. Sa lijeve i desne strane drugog IKR-a postavljaju se dva seta žica svaki duljine 100 mm.

4.2.2 Ispitivanje zavarenog spoja cijevi

Računanjem korisnih duljina filma dobivene su tri točke različitog iznosa, koje se nalaze u granicama interesnog područja. Kako bi se ispitala vidljivost u područjima navedenih točaka, provesti će se ispitivanje svake točke zasebno.

4.2.2.1 Područje 215 mm

Ispitni predmet pripremljen je kako je navedeno u poglavlju 4.2.1, s drugim IKR-om (W14) postavljenim na iznos 215 mm od početne točke. Pripremljeni ispitni predmet prikazan je slikom 31.



Slika 31. Ispitni predmet pripremljen za ispitivanje područja 215 mm

Igla izvora zračenja postavlja se na prednju stijenku ispitnog predmeta pod kutom od oko 45° u odnosu na okomicu. Fokusna točka namještena je da pada na područje od 107 mm udaljenosti od početne točke. Na vanjsku stranu stijenke cijevi, gdje su pripremljeni setovi žica i indikatori, postavlja se film. Film je postavljen tako da u potpunosti prekriva područje interesa. Film se zatim prekriva olovnom folijom debljine 1 mm. Na slici 32. prikazan je ispitni aranžman i tehnika korištena pri ispitivanju područja 215 mm.



Slika 32. Ispitni aranžman za ispitivanje područja 215 mm

Ispitivanje je provedeno sa:

- izotopom Ir192, veličine izvora 2,64×2,0 mm, aktivnosti 7,70 Ci na dan ispitivanja.

Korištena su dva tipa filmova:

- Agfa Strukturix D4 dimenzija 100×480 mm,
- Agfa strukturix D7 dimenzija 100×480 mm.

Sistem folija korišten pri ispitivanju je vakuum pakiranje (prednja i stražnja folija debljine 0,03 mm) sa dodatnom prednjom folijom debljine 0,09 mm postavljenom između filma i predmeta ispitivanja, dok su filmovi razvijani u novom razvijaju.

Vremena ekspozicije prikazana su tablicom 8., a računata su pomoću kalkulatora AGFA NDT FILM SYSTEM - NBBDN (2007) GE INSPECTION TECHNOLOGIES, dobivenog od strane proizvođača filmova.

Tablica 8. Vrijeme ekspozicije ispitivanja područja 215 kontaktnom tehnikom

IZOTOP KLASA FILMA	8 Ci
D 4	7 min
D 7	2,40 min

4.2.2.2 Područje 250 mm

Kako bi se ispitao utjecaj povećanja korisne duljine na vidljivost u području interesa, granica korisne duljine pomiče se sa vrijednosti od 215 mm na vrijednost od 250 mm od početne točke. U području udaljenosti 250 mm od početne točke postavlja se IKR₂ sa žicom W14 na točki udaljenosti 250 mm od početne. Sa lijeve i desne strane drugog IKR-a postavljaju se dva seta žica svaki duljine 100 mm. Ispitni predmet pripremljen za ispitivanje prikazan je slikom 33. Izvor zračenja (igla) postavlja se na prednju stijenku ispitnog predmeta pod kutom od oko 45° u odnosu na okomicu. Fokusna točka namještena je da pada na područje od 125 mm udaljenosti od početne točke. Film sa pripremljenim dodatnim prednjim folijama postavlja se na stražnju stijenku cijevi, tako da u potpunosti prekriva područje interesa. Na film se postavlja zaštitna folija debljine 1 mm.



Slika 33. Ispitni predmet pripremljen za ispitivanje područja 250 mm

Ispitivanje je provedeno sa:

- izotopom Ir192, veličine izvora 2,64×2,0 mm, aktivnosti 7,48 Ci na dan ispitivanja.

Korištena su dva tipa filmova:

- Agfa Strukturix D4 dimenzija 100×480 mm,
- Agfa strukturix D7 dimenzija 100×480 mm.

Vremena ekspozicija računata su pomoću kalkulatora AGFA NDT FILM SYSTEM - NBBDN (2007) GE INSPECTION TECHNOLOGIES, dobivenog od strane proizvođača filmova, a prikazane su tablicom 9.

Tablica 9. Vrijeme ekspozicije ispitivanja područja 250 kontaktnom tehnikom

IZOTOP KLASA FILMA	8 Ci
D 4	6,30 min
D 7	2,30 min

4.2.2.3 Područje 285 mm

Područje od 0 do 285 mm predstavlja područje ocjenjivanja na filmu u slučaju smanjenja broja ekspozicija sa $N = 4$ na $N = 3$. Kako bi se ispitala vidljivost u ovom području (naglasak je na području interesa PI), priprema se ispitni predmet. Na granice (0 mm, 285 mm) izračunate korisne duljine postavljaju se indikatori. Prvi IKR (IKR_1) postavljen je zrcalno (s lijeva na desno žice idu od tanje prema debljoj) okomito na zavar u području početne točke, sa žicom W14 na početnoj točki 0. Drugi IKR (IKR_2) također se postavlja okomito na zavar, sa žicom W14 na toči 285 mm udaljenosti od početne točke 0. Sa lijeve i desne strane drugog IKR-a postavljaju se dva seta žica svaki duljine 100 mm. Na slici 34. prikazan je ispitni predmet pripremljen za ispitivanje područja 285 mm.



Slika 34. Ispitni predmet pripremljen za ispitivanje područja 285 mm

Izvor zračenja (igla) postavlja se na prednju stijenku ispitnog predmeta pod kutom od oko 45° u odnosu na okomicu. Fokusna točka namještena da pada na područje od 142 mm udaljenosti od početne točke. Film se postavlja na stražnju stijenku cijevi, a između filma i ispitnog predmeta postavljaju se dodatne prednje folije (debljine 0,09 mm, poglavlje 4.1.5.2). Na film se postavlja stražnja zaštitna folija debljine 1 mm.

Ispitivanje je provedeno sa:

- izotopom Ir192, veličine izvora 2,64×2,0 mm, aktivnosti 7,48 Ci na dan ispitivanja.

Korištena su dva tipa filmova:

- Agfa Strukturix D4 dimenzija 100×480 mm,
- Agfa strukturix D7 dimenzija 100×480 mm.

Vrijeme ekspozicije za pojedini film izračunat je pomoću kalkulatora AGFA NDT FILM SYSTEM - NBBDN (2007) GE INSPECTION TECHNOLOGIES, dobivenog od strane proizvođača filmova, a prikazano je tablicom 10.

Tablica 10. Vrijeme ekspozicije ispitivanja područja 285 kontaktnom tehnikom

IZOTOP KLASA FILMA	8 Ci
D 4	6,30 min
D 7	2,30 min

4.2.2.4 Razvijanje filmova

Nakon prozračavanja filmovi se razvijaju u tamnoj komori. Svi filmovi razvijani su u novoj kemiji (vidi poglavlje *Priprema kemikalija za razvijanje i obradu filmova*). Vremena razvijanja, fiksiranja i pranja jednaka su za sve filmove, a postupak je proveden redom:

- razvijanje – nakon uklanjanja zaštitnih folija film je stavljen u razvijač temperature 21 °C u kojem je bio uronjen 7 minuta.
- međupranje – nakon razvijanja film je uronjen u vodu u kojoj je stajao 5 minuta
- fiksiranje – nakon međupranja, film se uranjao u fiksir u kojem je bio uronjen 14 minuta.
- ispiranje – nakon fiksiranja film se stavlja u kadicu za ispiranje u kojoj je bio uronjen 20 minuta.
- sušenje

4.2.2.5 Pregled filmova i analiza rezultata

Nakon sušenja, filmovi se popisuju i mjere im se zacrnjenja. Kao što je bilo navedeno u poglavlju *Oprema za pregled i ocjenjivanje filmova* zacrnjenje je mjereno u dvije točke. Budući da je promatrana, odnosno tražena žica W14 na indikatoru kvalitete radiograma, mjerenje zacrnjenja biti će provedeno upravo na tom području i to u točki na osnovnom materijalu (D_1) i točki na zavaru (D_2). Prije mjerenja zacrnjenja za svaki film je na denzitometru određena „0“, prema luminaciji iluminatora. Izmjerene vrijednosti (D_1 i D_2) su zabilježene, a kretale su se u rasponu od 3,06-3,54 za osnovni materijal (D_1), te 2,6 - 3,0 za zavar (D_2).

Filmovi su zatim pregledani i njihove vrijednosti upisane u tablice. Dobiveni rezultati prikazani su tablicama 11. i 12.

Filmovi su ocjenjivani prema slijedećim kategorijama:

- vidljivost žica na indikatoru kvalitete radiograma (IKR_1) postavljenog u početnoj točki 0
- vidljivost žica na indikatoru kvalitete radiograma (IKR_2) postavljenog u graničnoj vrijednosti korisne duljine filma za određeno područje
- vidljivosti žica na setu žica postavljenom ispred IKR_2 :
 - vidljivost bakrenih žica promjera $\phi 0,2$ mm (10 komada)
 - vidljivost čeličnih žica promjera $\phi 0,2$ mm (10 komada)
- vidljivosti žica na setu žica postavljenom iza IKR_2 :
 - vidljivost bakrenih žica promjera $\phi 0,2$ mm (10 komada)
 - vidljivost čeličnih žica promjera $\phi 0,2$ mm (10 komada)

Tablice pored procjene rezultata, sadrže zabilježene i iznose zacrnjenja (D_1 i D_2) za svaki film. U kućicama pored određenog seta žica zapisano je područje koje žice pokrivaju (očitano sa olovnog metra). Vidljivost žica opisana je izrazima vidljiva, nazire se i nije vidljiva, koji su označeni različitim bojama, radi bolje preglednosti samih tablica.

Filmovi su označavani slovno-broječanim oznakama, kao npr.

A-K8-D4-NR-3F

A – područje ispitivanja

K8 – kontaktna tehnika, izvor 8 Ci

D4 – klasa sistema filma

NR – novi razvijач

3F – dodatne prednje folije

Slovne oznake za ispitna područja:

A – ispitno područje 215 mm

B – ispitno područje 250 mm

C – ispitno područje 285 mm

U tablicama su korištene slijedeće kratice:

NR – novi razvijач

D4 – klasa filma

D7 – klasa filma

OM – osnovni materijal

Z – zavareni spoj

D₁ – zacrnjenje filma na osnovnom materijalu

D₂ – zacrnjenje filma na zavaru

IKR₁ – indikator kvalitete radiograma postavljen u početnoj točki

IKR₂ – indikator kvalitete radiograma postavljen u točki granice korisne duljine filma

Cu₁ – bakrena žica promjera $\phi 0,2$ postavljena ispred IKR-a

Cu₂ – bakrena žica promjera $\phi 0,2$ postavljena iza IKR-a

Fe₁ – čelična žica promjera $\phi 0,2$ postavljena ispred IKR-a

Fe₂ – čelična žica promjera $\phi 0,2$ postavljena iza IKR-a

Tablica 11. Vidljivost žica na filmu razreda osjetljivosti D4 za ispitne pozicije

		POZICIJA											
KLASA FILMA		A				B				C			
		D ₁		3,42		D ₁		3,54		D ₁		3,41	
		D ₂		2,94		D ₂		3,0		D ₂		2,72	
	D4	IKR ₁ 0	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. nazire se W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva		IKR ₁ 0	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. nazire se W14. nije vidljiva W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva		IKR ₁ 0	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. nazire se W14. nije vidljiva W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva				
			W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva cijela W14. nazire se na OM W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva <th colspan="2">W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. vidljiva > 1cm W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva<th colspan="2">W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. nazire se W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva</th></th>			W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. vidljiva > 1cm W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva <th colspan="2">W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. nazire se W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva</th>			W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. nazire se W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva				
		Cu ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela		Cu ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela		Cu ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela				
			Područje: 9 - 18 cm			Područje: 11 - 20 cm			Područje: 16 - 25 cm				
		Fe ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva na OM 7. vidljiva cijela 8. vidljiva na OM, Z nazire 9. vidljiva na OM, Z nazire 10. preklapa sa IKR		Fe ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. preklapa sa IKR		Fe ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva na OM 10. preklapa sa IKR				
			Područje: 9,5 - 18,5 cm			Područje: 11,5 - 20,5 cm			Područje: 16,5 - 25,5 cm				
	Cu ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela		Cu ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela		Cu ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. odsječena 10. odsječena					
Područje: 26 - 35 cm		Područje: 29 - 38 cm			Područje: 30 - 39 cm								
Fe ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva na OM 4. vidljiva cijela 5. vidljiva na OM, Z nazire 6. vidljiva na OM, Z nazire 7. vidljiva na OM, Z nazire 8. vidljiva na OM, Z nazire 9. vidljiva na OM, Z nazire 10. vidljiva na OM		Fe ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva na OM 6. nazire na OM 7. nazire na OM 8. nazire na OM i Z 9. nije vidljiva 10. nije vidljiva		Fe ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva na OM 7. vidljiva cijela 8. odsječena 9. odsječena 10. odsječena						
	Područje: 25,5 - 34,5 cm			Područje: 28,5 - 37,5 cm			Područje: 30,5 - 39,5 cm						

Tablica 12. Vidljivost žica na filmu razreda osjetljivosti D7 za ispitne pozicije

		POZICIJA					
KLASA FILMA	D7	A		B		C	
		D ₁	3,06	D ₁	3,15	D ₁	3,12
		D ₂	2,62	D ₂	2,86	D ₂	2,60
		IKR ₁ 0	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva W13. nazire se W14. nije vidljiva W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva	IKR ₁ 0	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. nazire se W14. nije vidljiva W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva	IKR ₁ 0	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. nazire se W14. nije vidljiva W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva
		IKR ₂ 215	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. nazire se na OM W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva	IKR ₂ 250	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva cijela W14. nazire se na OM W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva	IKR ₂ 285	W10. vidljiva cijela W11. vidljiva cijela W12. vidljiva cijela W13. vidljiva W14. nije vidljiva W15. nije vidljiva W16. nije vidljiva
		Cu ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela Područje: 9 - 18 cm	Cu ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela Područje: 11 - 20 cm	Cu ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela Područje: 16 - 25 cm
		Fe ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. nazire se 3. vidljiva 4. vidljiva 5. vidljiva 6. vidljiva na OM 7. vidljiva na OM 8. vidljiva na OM 9. nazire se 10. preklapa sa IKR Područje: 9,5 - 18,5 cm	Fe ₁ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva OM, Z nazire 5. nazire se 6. nije vidljiva 7. nije vidljiva 8. nije vidljiva 9. nije vidljiva 10. preklapa sa IKR Područje: 11,5 - 20,5 cm	Fe ₁ 0,2	1. vidljiva OM, Z nazire 2. vidljiva OM, Z nazire 3. vidljiva na OM 4. vidljiva na OM 5. vidljiva na OM 6. vidljiva na OM 7. nazire na OM 8. nazire na OM 9. nazire na OM 10. preklapa sa IKR Područje: 16,5 - 25,5 cm
		Cu ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela Područje: 26 - 35 cm	Cu ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. vidljiva cijela 9. vidljiva cijela 10. vidljiva cijela Područje: 29 - 38 cm	Cu ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva cijela 4. vidljiva cijela 5. vidljiva cijela 6. vidljiva cijela 7. vidljiva cijela 8. odsječena 9. odsječena 10. odsječena Područje: 30 - 39 cm
		Fe ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva cijela 3. vidljiva na OM 4. vidljiva na OM 5. vidljiva na OM 6. vidljiva na OM 7. nazire se 8. nazire se 9. nazire se 10. nazire se Područje: 25,5 - 34,5 cm	Fe ₂ 0,2	1. vidljiva na OM, Z nazire 2. vidljiva cijela 3. nazire na OM 4. nazire na OM 5. nazire na OM 6. nazire na OM 7. nije vidljiva 8. nazire na OM 9. nije vidljiva 10. nije vidljiva Područje: 28,5 - 37,5 cm	Fe ₂ 0,2	1. vidljiva cijela 2. vidljiva na OM 3. vidljiva na OM 4. vidljiva na OM 5. nazire na OM 6. nazire na OM 7. vidljiva na OM 8. odsječena 9. odsječena 10. odsječena Područje: 30,5 - 39,5 cm

4.2.2.6 Osvrt na rezultate ispitivanja

Ispitivanjima se željelo utvrditi kako će smanjenje broja ekspozicija za određenu tehniku utjecati na kvalitetu radiograma. Kako bi se pratila vidljivost na radiogramima, na ispitni predmet postavljeni su indikatori kvalitete (na granice korisne duljine filmova za određeno područje), te ispitne žice na području do i van granice korisne duljine. Kao ocjena kvalitete radiograma odabire se vidljivost svakog od tih područja (IKR_1 , IKR_2 , set žica 1, set žica 2), ali sa naglaskom na područje interesa (set žica 1, IKR_2).

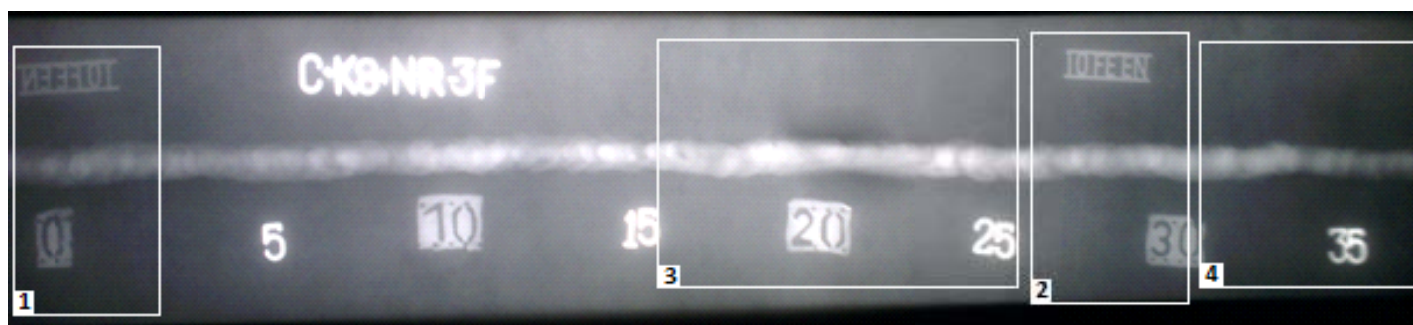
Rezultati ispitivanja pokazali su kako se smanjenjem broja ekspozicija nije značajno utjecalo na kvalitetu radiograma. Prvenstveno se ovaj zaključak odnosi na radiograme razreda osjetljivosti D4, na kojima je vidljivost svakog pojedinog područja gotovo ista. Ipak valja napomenuti da iako gotovo da i nema razlike u vidljivosti, treba obratiti pažnju na iskrivljenje slike koja je vidljiva na području 285 mm. Interesantni rezultati dobiveni su u području B (250 mm), koje je možda i najbolje vidljivosti, a na radiogramu ovog područja uočena je i izmjerena W14 žica IKR-a duljine oko 15 mm.

Na filmovima razreda osjetljivosti D7, uočene se nešto veće razlike u vidljivosti, pogotovo u području 250 mm koje je kod filmova razreda D4 najbolje vidljivosti. Između područja 215 i 285 mm, nisu uočene značajne razlike. Također kao i kod filmova razreda D4 treba obratiti pažnju na iskrivljenje slike kod područja 285 mm.

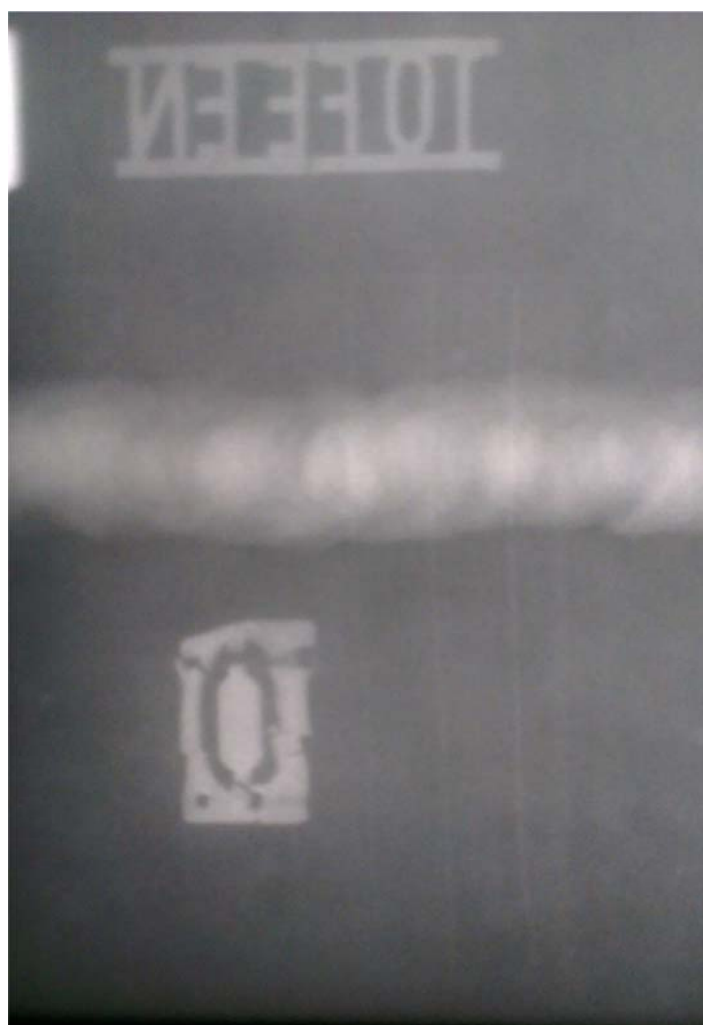
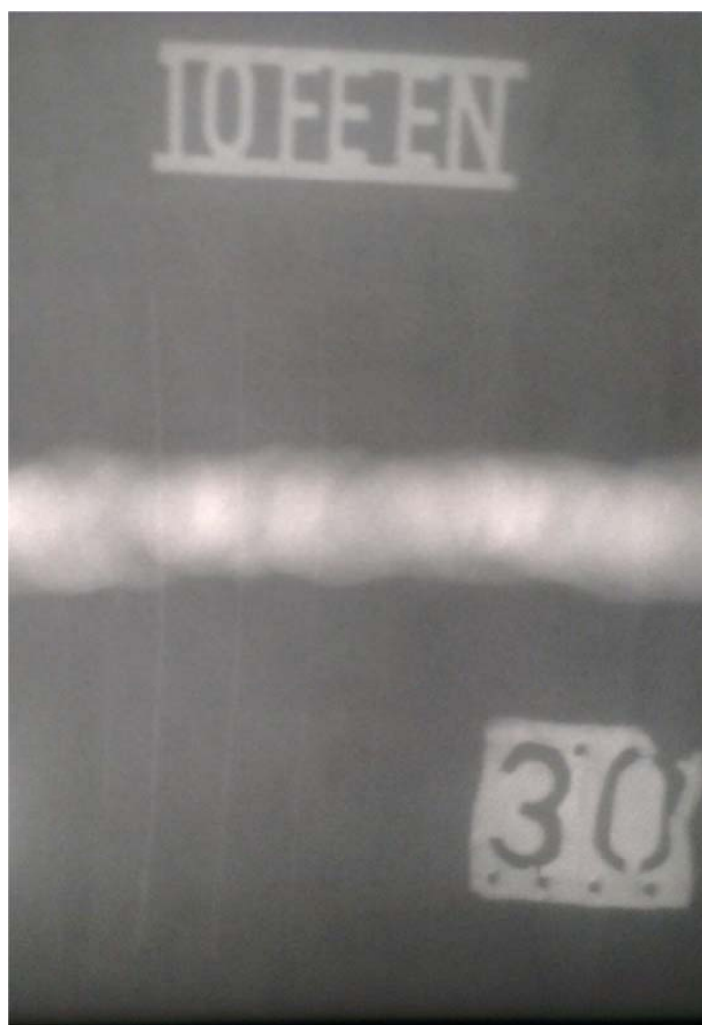


Slika 1. Oznake na radiogramu

- 1 - oznaka koja ukazuje da je IKR na strani filma
- 2 - oznaka ispitnog područja
- 3 - oznaka tehnike - kontaktna tehnika - izotop 8 Ci
- 4 - oznaka sistema kemikalija - novi razvijatelj
- 5 - oznaka sistema folija
- 6 - oznaka razreda osjetljivosti filma
- 7 - oznaka IKR-a

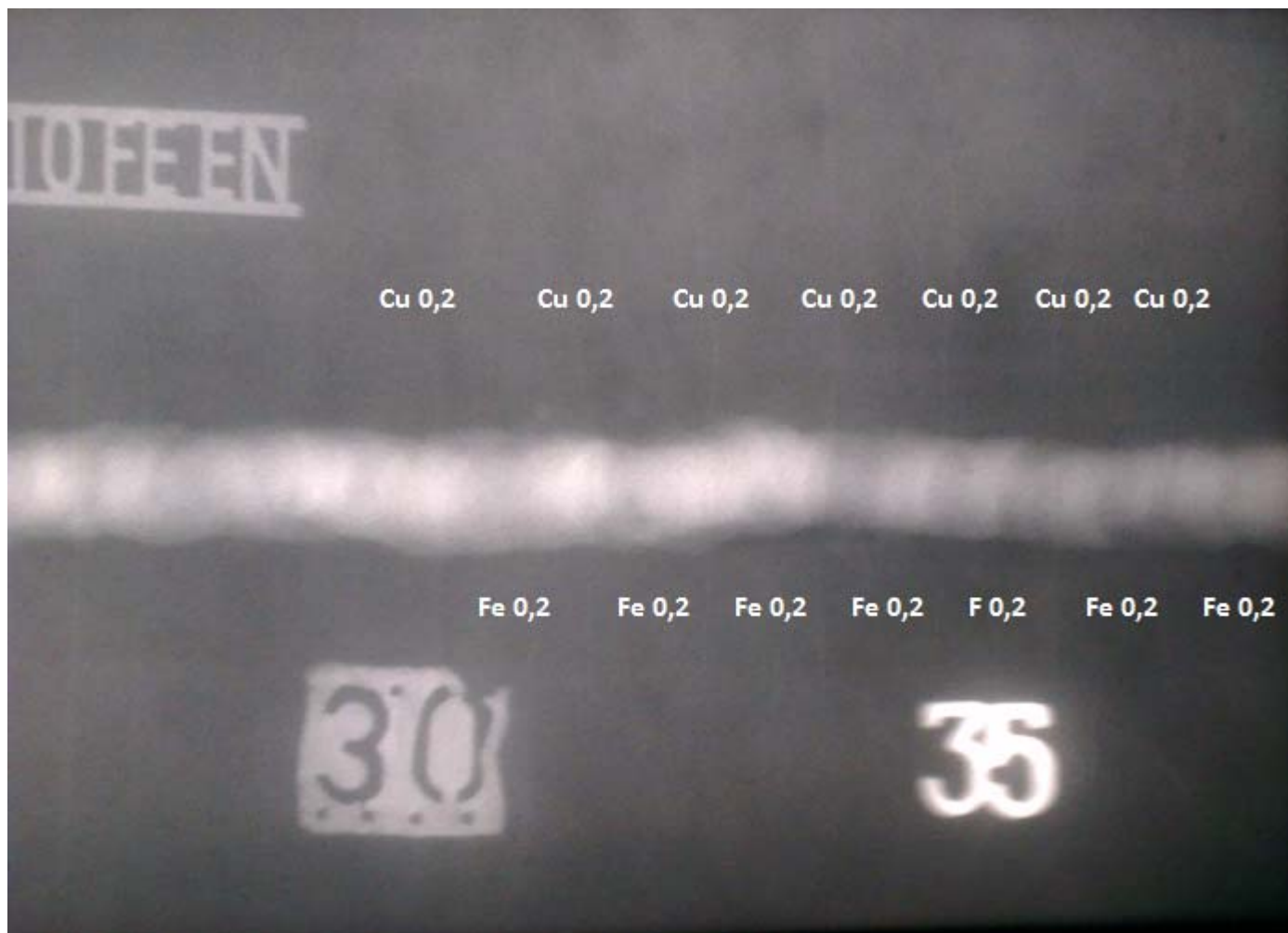


a) Radiogram

b) Područje 1 - IKR₁ postavljena sa W14 na 0 mmc) Područje 2 - IKR₂ postavljen sa W14 na 280 mm

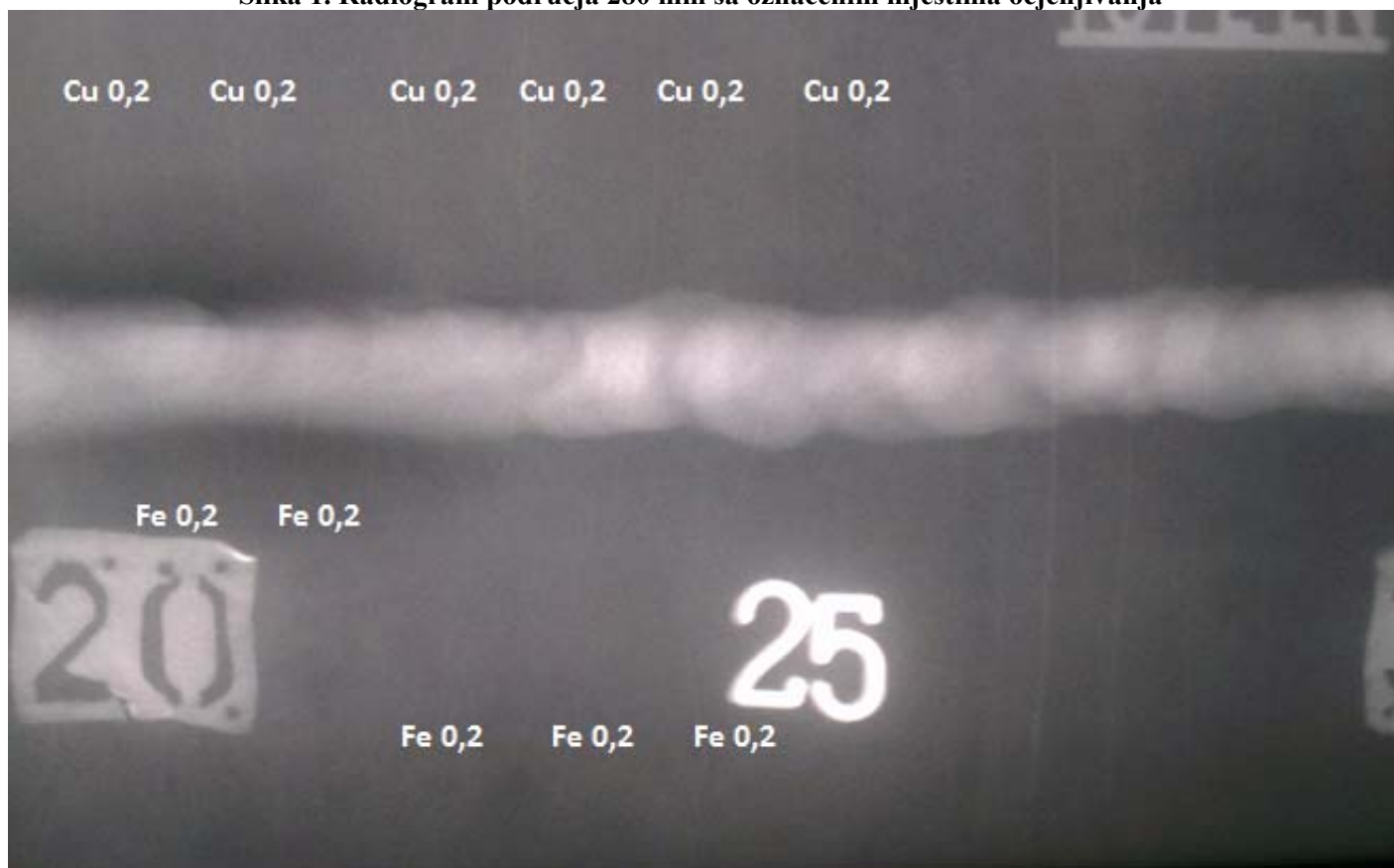


d) Područje 3 - Set žica Cu 0,2 i Fe 0,2 postavljen na području od 16 - 25 cm na olovnom metru

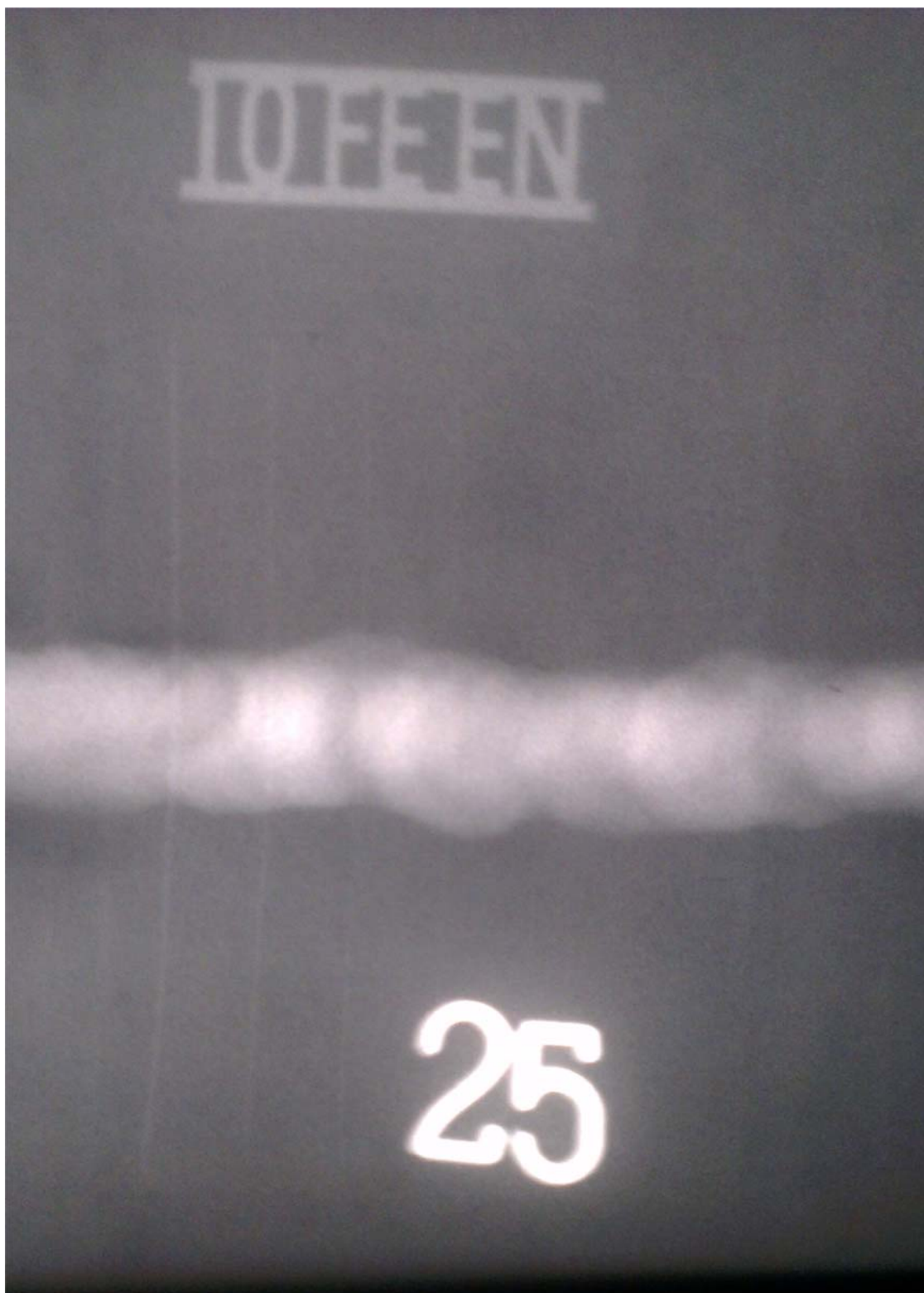


e) Područje 4 - Set žica Cu 0,2 i Fe 0,2 postavljen na području od 30 - 39,5 cm na olovnom metru

Slika 1. Radiogram područja 280 mm sa označenim mjestima ocjenjivanja



Slika 2. Područje interesa ispitivanja 215 - 285 mm



Slika 3. Radiogram B-K8-D4-NR-3F; W 14 > 1 cm

5. ZAKLJUČAK

Istraživanje je provedeno kako bi se ispitala mogućnost korištenja izotopa Ir192 za radiografsko ispitivanje čeličnih cijevi ukupne prozračne debljine manje od 20 mm. U svrhu približavanja kvalitete radiograma kvaliteti dobivenoj ispitivanjem rendgenskim uređajem, korištene su razne kombinacije parametara.

Prvotna ideja bila je povećati udaljenosti između izvora i ispitnog predmeta, kako bi se smanjile unutarnje neoštine i na taj način poboljšala kvaliteta radiograma. Dobiveni rezultati ispitivanja bili su suprotni očekivanima. Stoga se u daljnjim ispitivanjima odustalo od navedenog ispitnog aranžmana. U daljnjem istraživanju razmatrani su drugi parametri poput korištenja različite klase sistema filma i sistema kemikalija za obradu filmova. Kao i kod ispitivanja s udaljavanjem izvora od ispitnog predmeta, dobiveni rezultati su se pokazali neočekivanima. Naime, bolju vidljivost, kao i općenito bolju kvalitetu radiograma postigli su filmovi manjeg razreda osjetljivosti (D7), dok razvijanje filmova u novopripravljenom sistemu kemikalija nije značajno utjecalo na kvalitetu filmova. U svrhu ispitivanja mogućnosti pogreške, ispitivanja su ponovljena, ali s izotopom Ir192 veće aktivnosti (8Ci). Nije postignuta željena kvaliteta, a rezultati su i dalje varirali. Tek se dodavanjem dodatnog prednjeg sistema folija postigla osjetno veća vidljivost radiograma, poglavito kod filmova razreda osjetljivosti D4.

Na radiogramima K6-D4-SR-3F, K8-D4-NR-3F i K8-D7-NR-3F postignuta je vidljivost žice W14 mjerljivih karakteristika (> 10 mm). Stoga se za navedene radiograme može reći da je postignuta tražena kvaliteta. Kod radiograma kojima vidljivost žice nema mjerljive karakteristike, uzimajući u obzir subjektivnost procjene, tražena kvaliteta radiograma nije postignuta.

S obzirom na prilično velike varijacije rezultata i relativno mali ispitni uzorak, teško je zaključiti o mogućnostima postizanja klase B radiograma izotopom Ir192. Na temelju rezultata ispitivanja može se izvesti zaključak da je potrebno provesti daljnja opsežnija istraživanja, i na dovoljno velikom uzorku, kojima bi se utvrdila ponovljivost rezultata.

Za razliku od rezultata dobivenih prethodno navedenim ispitivanjem, rezultati dobiveni pri ispitivanju mogućnosti smanjenja broja ekspozicija propisanih normom za pojedinu tehniku radiografskog ispitivanja čeličnih cijevi, u velikoj su mjeri jednoznačni. Kao možebitnu posljedicu ovih rezultata smatramo korištenje ispitne tehnike, sistema kemikalija i dodatnog prednjeg sistema folija, tj. kombinacije parametara koji su pokazali najbolje rezultate u prethodnom ispitivanju. Rezultati nisu pokazali značajnija odstupanja, a vidljivost na radiogramima je gotovo ista za sva tri ispitna područja. Iako vidljivost na radiogramu koji predstavlja tehniku snimanja smanjenim brojem ekspozicija nije značajno smanjena, treba napomenuti vidljivo iskrivljenje slike uočeno na području 285 mm od početne točke. Kao i kod prethodnog ispitivanja, treba uzeti u obzir da je ispitivanje provedeno na relativno malom ispitnom uzorku, te da se i kod ovog ispitivanja mora utvrditi ponovljivost rezultata.

LITERATURA

- [1] Nondestructive Testing Handbook, Second Edition, Volume Three Radiography & Radiation Testing; American Society for Nondestructive Testing, USA 1985.
- [2] Metals Handbook, Eight edition, Volume 11, Nondestructive Inspection and Quality Control; American Society for Metals, USA 1976.
- [3] Industrial Radiography - Image forming techniques, GE Company, 2007.
- [4] Radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva - Tehnike snimanja; Energoinvest - IMQ , Institut za materijale i kvalitet, 2010.
- [5] HRN EN 1435:2000/A1:2003/A2:2008 Nerazorno ispitivanje zavara - Radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva
- [6] HRN EN 462-1:1997 Nerazorno ispitivanje - Kvaliteta radiograma - 1. dio: Indikatori kvalitete radiograma (žičani) - Određivanje stupnja kvalitete radiograma (EN 462-1:1994)

PRILOZI

I CD-R disc